

**Π.Μ.Σ. ΒΙΟΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ**

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΙΩΑΝΝΗΣ ΦΡΑΓΓΙΣΤΑΣ

Διερεύνηση των επιδράσεων ετήσιων δεικτών θερμοκρασίας στην  
ετήσια θνησιμότητα στην Αθήνα για την περίοδο 1992-2010

ΑΘΗΝΑ, 2021

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη

## **ΒΙΟΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ**

που απονέμει η Ιατρική Σχολή και το Τμήμα Μαθηματικών του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Εγκρίθηκε την ..... από την εξεταστική επιτροπή:

<b>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ</b>	<b>ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
<b>1. Κλέα Κατσουγιάννη</b>	<b>Καθηγήτρια</b>	.....
<b>2. Ευαγγελία Σαμόλη</b>	<b>Αναπλ. Καθηγήτρια</b>	.....
<b>3. Κωνσταντίνα Δημακοπούλου</b>	<b>Διδάκτωρ</b>	.....

## Ευχαριστίες

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω την αγαπητή καθηγήτρια Κλέα Κατσουγιάννη, η οποία υπήρξε επόπτρια της παρούσας διπλωματικής εργασίας και συνέβαλε καθοριστικά με την καθοδήγηση και τις συμβουλές της στην ολοκλήρωσή της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την διδάκτορα ακαδημαϊκή υπότροφο Κωνσταντίνα Δημακοπούλου για την βοήθειά της και τα πολύτιμα σχόλια κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, αλλά και την αναπληρώτρια καθηγήτρια Ευαγγελία Σαμόλη, που υπήρξε μέλος της επιτροπής της διπλωματικής.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον βιοστατιστικό, μέλος ΕΤΕΠ, Αντώνη Αναλυτή, του οποίου η βοήθεια σε όλα τα στάδια της διπλωματικής εργασίας υπήρξε πολύτιμη. Τον ευχαριστώ πολύ για τον χρόνο που μου αφιέρωσε, πάντα με θετική διάθεση και υπομονή και τις πολύ βοηθητικές συμβουλές του, οι οποίες συνέβαλαν ουσιαστικά στο να καταφέρω να ολοκληρώσω την διπλωματική εργασία.

Ευχαριστώ εκ βάθους καρδιάς όλους τους παραπάνω και θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου επίσης για το ότι μου δόθηκε η ευκαιρία να ζήσω την εμπειρία αυτού του μεταπτυχιακού προγράμματος και να μάθω την διαδικασία εκπόνησης διπλωματικής εργασίας. Έμαθα πολλά τα οποία σίγουρα θα αξιοποιήσω στην επαγγελματική και ακαδημαϊκή μου σταδιοδρομία.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου για τη στήριξη που μου παρείχαν, ώστε να έχω τη δυνατότητα να αφοσιωθώ στις σπουδές μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	Σελ.
1. Θερμοκρασία και Θνησιμότητα.....	6
2. Μελέτες βραχυπρόθεσμων επιδράσεων χρονικής σύγκρισης.....	9
2.1. Επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα.....	10
i. Παράγοντες που ίσως επηρεάζουν την σχέση υψηλής θερμοκρασίας και θνησιμότητας.....	13
2.2. Επιδράσεις της χαμηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα.....	20
i. Παράγοντες που ίσως επηρεάζουν την σχέση χαμηλής θερμοκρασίας και θνησιμότητας.....	22
3. Το φαινόμενο της «μικρής μετατόπισης της θνησιμότητας» (Harvesting ή mortality displacement) .....	27
4. Μελέτες μακροπρόθεσμων επιδράσεων χρονικής σύγκρισης.....	31
i. Συγχυτικοί παράγοντες σε μοντέλα μακροπρόθεσμων επιδράσεων.....	34
5. Πιθανοί βιολογικοί μηχανισμοί επίδρασης της θερμοκρασίας.....	37
6. Σχεδιασμός έρευνας και αντίστοιχες μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης.....	40
6.1. Οικολογικές μελέτες χρονικής σύγκρισης.....	40
6.2. Στατιστικά Μοντέλα και Στατιστική Εκτίμηση.....	41
6.3. Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα.....	42
6.4. Κατανομή Poisson.....	43
6.5. Υπερδιασπορά.....	45
6.6. Παλινδρόμηση Poisson.....	46
6.7. Ημιπιθανοφάνεια («Quasi-Likelihood»).....	47
<b>ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	
1 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας.....	48
2 Υλικό και Μέθοδος.....	49
3 Αποτελέσματα.....	58
4 Συζήτηση.....	163
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	

Ελληνικά.....	169
Αγγλικά.....	171
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	172

## ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1. Θερμοκρασία και θνησιμότητα

**Η σχέση θερμοκρασίας - θνησιμότητας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής.**  
Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην διερεύνηση των επιδράσεων της ετήσιας θερμοκρασίας στην ετήσια θνησιμότητα. Η σχέση της θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα ειδικά τα τελευταία χρόνια με την κλιματική αλλαγή είναι ένα θέμα που ερευνάται όλο και περισσότερο με βαρύνουσα σημασία για το κοινωνικό και εν γένει το πολιτισμικό περιβάλλον (Meehl & Tebaldi, 2004). Και αυτό διότι πλείστες έρευνες του παρελθόντος έχουν αναδείξει τις αρνητικές επιδράσεις υψηλών ή χαμηλών θερμοκρασιών στην υγεία των ανθρώπων με διάφορους επιδημιολογικούς δείκτες, με τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο να είναι η θνησιμότητα και οι διάφορες αιτίες της (καρδιαγγειακή, αναπνευστική) (Smith et al., 2015). Με την κλιματική αλλαγή αυτές οι θερμοκρασίες θα γίνουν πιο έντονες, θα αυξηθεί η μεταβλητότητα της θερμοκρασίας και τα ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα που θα παρατηρηθούν θα γίνουν πιο ακραία και θα έχουν μεγαλύτερη διάρκεια με μεγάλες επιπτώσεις στην δημόσια υγεία (Gasparrini et al., 2017). Αυτό ισχύει για παράδειγμα για τα κύματα καύσωνα, τα οποία σύμφωνα με τους Meehl et al. (2004) σε όλη την υφήλιο θα γίνουν πιο συχνά, πιο έντονα και θα διαρκούν περισσότερο από ό,τι στο παρελθόν για τον 21<sup>ο</sup> αιώνα. Μάλιστα, σύμφωνα με τους Pascal et al. (2018) ακόμη και αν επιτευχθεί ο παγκόσμιος στόχος για αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από 2<sup>ο</sup> C είναι σίγουρο ότι θα υπάρξουν ακραία φαινόμενα καύσωνα. Φυσικά, η αλλαγή στη θερμοκρασία θα αποτυπωθεί όχι μόνο μέσω ακραίων φαινομένων περιστασιακά αλλά και στην θερμοκρασία της καθημερινής ζωής, όπου έχει ήδη τεκμηριωθεί ότι παρατηρείται σταδιακά αύξηση της θερμοκρασίας τόσο κατά την ημέρα όσο και κατά τη νύχτα, με τον αριθμό των ημερών και βραδιών που υπάρχουν χαμηλές θερμοκρασίες να βαίνει μειούμενος διεθνώς (Stocker et al., 2013).

Οι Meehl et al. (2004) προσθέτουν όπως και πλείστες έρευνες ότι ένα μεγάλο μέρος αυτής της αύξησης οφείλεται στην ανθρωπογενή δραστηριότητα και συγκεκριμένα στις αυξανόμενες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Αυτές συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα, δημιουργούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αυξάνουν την θερμοκρασία

παγκοσμίως, αποτελώντας τον βασικότερο παράγοντα υπερθέρμανσης του πλανήτη όπως αναφέρει το Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) μία διεθνής επιτροπή που μελετά την κλιματική αλλαγή (Moss et al., 2010). Μάλιστα στις πόλεις η κατάσταση θα είναι χειρότερη, καθώς το φαινόμενο της θερμικής αστικής νησίδας, «Urban Heat Island» (UHI), το οποίο θα αναλυθεί και παρακάτω, υπάρχει, και θα επιβαρύνει παραπάνω ενώ σύμφωνα με προβλέψεις ένα όλο και μεγαλύτερο ποσοστό του κόσμου θα κινηθεί προς τις πόλεις (Zafeiratou et al., 2019). Ακόμη πολύ πιο επιβαρυνμένα θα είναι τα νότια κλίματα, και κυρίως οι χώρες με τους λιγότερους διαθέσιμους πόρους, οι οποίες θα δουν να σημειώνεται πολύ μεγαλύτερη αύξηση θνησιμότητας σε σύγκριση με πλούσιες και βόρειες χώρες (Armstrong et al., 2017). Κατόπιν όλων των παραπάνω αναδεικνύεται ότι η κλιματική αλλαγή αναγνωρίζεται ως ο μεγαλύτερος κίνδυνος για τον 21<sup>ο</sup> αιώνα παγκοσμίως με εξαιρετικά αρνητικές επιπτώσεις για τα οικοσυστήματα και τους ζωντανούς οργανισμούς (Watts et al., 2015).

**Επιδημιολογικές μελέτες.** Μέσα σε αυτό το περιβάλλον υπάρχει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον για τις επιπτώσεις της θερμοκρασίας στην υγεία του ανθρώπου. Οι επιδημιολογικές μελέτες που πραγματοποιούνται για την μελέτη αυτής της σχέσης είναι ποικίλες και περιλαμβάνουν τις επιδράσεις της θερμοκρασίας και στα δύο άκρα του φάσματος, δηλαδή και στη θερμότητα και στο κρύο, καθώς και ακραία φαινόμενα, και έρευνα πάνω στην μεταβλητότητα της θερμοκρασίας. Κατά βάση λοιπόν αυτές αναφέρονται σε βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της χαμηλής και της υψηλής θερμοκρασίας, δηλαδή την επίδραση σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά από περιόδους ασυνήθιστα για την περιοχή έντονου καύσωνα ή όπως ενός κύματος καύσωνα («heat wave») ή ασυνήθιστα έντονου κρύου ή κύματος χαμηλής θερμοκρασίας («cold spell»).

Επίσης, τελευταία αποτυπώνεται προσπάθεια και για την μελέτη των πιο μακροπρόθεσμων επιδράσεων της θερμοκρασίας, δηλαδή για επιδράσεις που κατόπιν της έκθεσης σε ένα καιρικό φαινόμενο για μία ορισμένη κατά περίπτωση περίοδο, οι επιδράσεις του στον ανθρώπινο οργανισμό εκτείνονται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα πέραν αυτού που ορίζονται από τις μελέτες βραχυπρόθεσμων επιδράσεων (Rehill et al., 2015), που το τελευταίο είναι και το αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

Υπάρχουν διάφορες ερευνητικές προσεγγίσεις που μπορούν να ακολουθηθούν αναλόγως του ειδικού σκοπού της μελέτης για την διερεύνηση του εκάστοτε φαινομένου,

όπως για παράδειγμα, μελέτες τοπικών συγκρίσεων, μελέτες κοορτής ή μελέτες χρονικών συγκρίσεων. Η παρούσα μελέτη θα εστιάσει στις χρονικές συγκρίσεις, δηλαδή τις διαφορές της επίδρασης της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα από χρονική περίοδο σε χρονική περίοδο σε δεδομένο πληθυσμό τοπικά και χρονικά προσδιορισμένο. Αυτό επιλέγεται, διότι στόχος είναι να φανεί διαχρονικά η επίδραση της ετήσιας θερμοκρασίας στην ετήσια θνησιμότητα και το αν αυτή επηρεάζει ή όχι, ελέγχοντας για ορισμένους παράγοντες, δηλαδή να εξεταστεί η εξέλιξη των επιδράσεων συναρτήσει του χρόνου.

Παρακάτω παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο της μελέτης, με εφελτήριο την βιβλιογραφική ανασκόπηση πάνω στις βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα, ώστε στη συνέχεια να εξηγηθεί το φαινόμενο του harvesting και να εκτεθούν τα πρόσφατα βιβλιογραφικά ευρήματα πάνω στη μελέτη των μακροπρόθεσμων επιδράσεων. Τέλος, γίνεται μία σύντομη αναφορά πάνω στους πιθανούς βιολογικούς μηχανισμούς της σχέσης αυτής, όπως αυτή προκύπτει από την βιβλιογραφία, γίνεται αναφορά στη μαθηματική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και στη συνέχεια παρουσιάζεται το ειδικό μέρος της διπλωματικής.



## **2. Μελέτες βραχυπρόθεσμων επιδράσεων της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα («short-term effects of temperature on mortality»)**

Οι μελέτες βραχυπρόθεσμων επιδράσεων της θερμοκρασίας αφορούν σε επιδράσεις συγκεκριμένης διάρκειας της θερμοκρασίας στον ανθρώπινο οργανισμό με ορισμένο επιδημιολογικό δείκτη (π.χ. θνησιμότητα). Αφορούν σε σχεδιασμούς που περιλαμβάνουν κατά βάση μελέτες χρονοσειρών («time series») (Moghadamnia *et al.*, 2017) σε ορισμένες περιπτώσεις με εφαρμογή της μεθόδου Distributed Lag Non Linear Models (DLNMs) τα οποία σύμφωνα με τους Gasparini *et al.* (2010) περιγράφουν τη σχέση μεταξύ έκθεσης και της έκβασης με χρονοϋστέρηση («lag»), λαμβάνοντας υπόψη δηλαδή τη μη-γραμμική σχέση του υπό εξέταση φαινομένου και την χρονο-υστερημένη επίδρασή του κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση χρονικής περιόδου.

## 2.1. Επιδράσεις υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα («short-term heat effects on mortality»)

Το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας εστιάζεται στις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα (από όλες τις αιτίες, από καρδιαγγειακές και αναπνευστικές). Έχει φανεί από πλήθος μελετών ότι η υψηλή θερμοκρασία είτε ως απόλυτη τιμή, είτε ως μεγαλύτερη σε σχέση με ένα όριο, είτε ως κύμα καύσωνα, αυξάνει βραχυπρόθεσμα τη θνησιμότητα (Guo et al., 2017).

Όσον αφορά στη συνολική θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες έχει φανεί από διάφορες μελέτες ότι αυτή κυμαίνεται σε διάφορα επίπεδα αναλόγως του γεωγραφικού πλάτους και των διαφόρων δεικτών που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας, δηλαδή αν είναι μία υψηλή τιμή θερμοκρασίας ή ένας δείκτης ο οποίος προκύπτει από συνδυασμό θερμοκρασίας και υγρασίας (Guo et al., 2017). Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής: Σε μία μελέτη σε 18 πόλεις της Γαλλίας φαίνεται ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας η θνησιμότητα αυξάνεται κατά 1,2% (95% Δ.Ε.: 1,1, 1,2%) (Pascal et al., 2018). Κοντά αριθμητικά αλλά και διαφορετικοί πάντα στο πλαίσιο της γεωγραφικής μεταβλητότητας είναι και άλλοι δείκτες. Για παράδειγμα στην Αγγλία παρατηρήθηκε ότι αυτή κυμαίνεται στο 2,1% (95% Δ.Ε.: 1,6% - 2,6%) αύξηση για κάθε μία μονάδα πάνω από το όριο της θερμοκρασίας ελάχιστης θνησιμότητας (minimum mortality temperature) της κάθε τοπικής περιοχής υπό μελέτη (Gasparrini et al., 2012). Ακόμη, σε μελέτη μετα-ανάλυσης φάνηκε ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια περιόδων με υψηλές θερμοκρασίες η θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες αυξάνεται κατά 2% έως 5% (Yu et al., 2012).

Όσον αφορά στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα, έχει αποδειχθεί από πλήθος ερευνών ότι υπάρχει επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας. Σε μετα-ανάλυση των Moghadamnia et al. (2017) αναφέρεται ότι η επίδραση της έκθεσης στην υψηλή θερμοκρασία αυξάνει τον κίνδυνο καρδιαγγειακού θανάτου για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας κατά 1,3 % (95% Δ.Ε.: 1,1% - 1,5%). Στην ίδια μελέτη στην Αγγλία παρατηρήθηκε ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας η θνησιμότητα αυξήθηκε κατά 1,8 % (95% Δ.Ε.: 1,2% - 2,5%) (Gasparrini et al., 2012).

Ακόμη στην Αγγλία φάνηκε ότι η αναπνευστική θνησιμότητα αυξήθηκε κατά 4,1% (95% Δ.Ε.: 3,5% – 4,8%) για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας (Gasparrini et al., 2012).

Ως υψηλή θερμοκρασία εν προκειμένω νοείται η πιο υψηλή από τη συνήθη για μία περιοχή αλλά και τα κύματα καύσωνα («heat wave»). Η επίδραση της έκθεσης σε υψηλή θερμοκρασία έχει διάρκεια 3 μέρες περίπου σύμφωνα με πλήθος μελετών (Bao et al., 2016; Pascal et al., 2018). Ακόμη οι Pascal et al. (2018) σημειώνουν ότι οι πολύ ασυνήθιστες θερμοκρασίες έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην θνησιμότητα, ακόμη και όταν δεν είναι πολύ υψηλές σε απόλυτη τιμή. Αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι «Αυτό φαίνεται και από το κύμα καύσωνα του 2006 στη Γαλλία όπου ο μεγαλύτερος αντίκτυπος στη θνησιμότητα δεν φάνηκε σε περιοχές που είχαν απόλυτα τις υψηλότερες θερμοκρασίες, αλλά σε αυτές που είχαν τις πιο ασυνήθιστες για την περιοχή τους (Pascal et al., 2012)» (Pascal et al., 2018). Σύμφωνα με τους Gasparrini et al. (2015) ένα 3% και 11% της θνησιμότητας μπορεί να αποδοθεί σε μη-ιδανικές θερμοκρασίες, δηλαδή λίγο πιο θερμές από το σύνηθες μίας περιοχής.

**Επίδραση υψηλής θερμοκρασίας («heat effect»).** Είναι τεκμηριωμένο από πλείστες πηγές ότι η θερμοκρασία ακολουθεί σε σχέση με την θνησιμότητα μία καμπύλη της μορφής, U- V- ή J- όπου το πιο χαμηλό σημείο της θνησιμότητας εμφανίζεται με μέσες θερμοκρασίες και η θνησιμότητα αυξάνεται όσο αποκλίνει από το μέσο σημείο η θερμοκρασία (Curriero et al., 2002). Αυξάνεται και μειώνεται αντίστοιχα πιο έντονα σε V- καμπύλη και λιγότερο έντονα, πιο ομαλά σε U- καμπύλη (Bao et al., 2016). Τόσο οι υψηλές θερμοκρασίες ως απόλυτες τιμές, η υψηλή μεταβλητότητα της θερμοκρασίας αλλά κυρίως η ασυνήθιστα για μία περιοχή υψηλές θερμοκρασίες έχουν χαρακτηριστεί στην βιβλιογραφία ως παράγοντες που αυξάνουν τη θνησιμότητα (Moghadamnia et al., 2017).

**Επίδραση κυμάτων καύσωνα.** Όπως προαναφέρθηκε, οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν στα κύματα καύσωνα («heat waves») τα οποία πρόκειται να αυξηθούν σε συχνότητα, ένταση και διάρκεια (Meehl & Tebaldi, 2004) και για αυτό το λόγο χρήζουν έντονης μελέτης. Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί του «heat wave» στην ερευνητική βιβλιογραφία. Σύμφωνα με τους Guo et al. (2017), ορισμένες μελέτες χρησιμοποιούν ως κριτήριο ορισμού του «heat wave» το 95<sup>ο</sup> ή 97,5<sup>ο</sup> εκατοστημόριο της κατανομής της εκάστοτε έκθεσης, π.χ. μέση ημερήσια θερμοκρασία, ελάχιστη ή μέγιστη ή λαμβάνεται ως

κριτήριο κάποιο όριο π.χ. πάνω από 30° C για μέση ημερήσια θερμοκρασία (ή για τον δείκτη «apparent temperature», ο οποίος αποτελεί συνδυαστικός τύπος θερμοκρασίας και υγρασίας ) και αυτά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το οποίο ορίζεται για 2, 3 ή 4 συνεχόμενες μέρες. Ακόμη οι Meehl et al. 2004 ορίζουν ως «heat wave» συναπτόμενες νύχτες στις οποίες η ελάχιστη παρατηρούμενη θερμοκρασία να είναι ιδιαίτερος αυξημένη σε σχέση με την υπόλοιπη περίοδο. Σε άλλη μελέτη ο ορισμός περιελάμβανε διάφορα είδη κυμάτων καύσωνα αναλόγως με την ένταση και την διάρκεια των επεισοδίων υψηλής θερμοκρασίας, ενώ η μεταβλητή που αξιολογούταν λάμβανε υπόψιν και τα επίπεδα θερμοκρασίας (D'Ippoliti et al., 2010). Έτσι, ακριβώς λόγω της ετερογένειας των ορισμών υπάρχουν δυσκολίες στην συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων που παράγουν ως προς την υγεία τα κύματα καύσωνα (Guo et al., 2017). Σε μελέτη που συμμετέχουν διάφορες χώρες και χρησιμοποιούνται διάφοροι ορισμοί φάνηκε ότι όσο πιο μεγάλο ήταν το όριο για να οριστεί το κύμα καύσωνα («cut point score») με βάση το ποσοστιαίο (95%, 97%) τόσο μεγαλύτερη φαινόταν η επίδραση του κύματος καύσωνα (Guo et al., 2017).

Τυπικό παράδειγμα κύματος καύσωνα είναι αυτό που συνέβη το καλοκαίρι του 2003 στην Ευρώπη. Σύμφωνα με στοιχεία του περιβαλλοντικού προγράμματος DEWA/GRID του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.) το κύμα αυτό προκάλεσε μεταξύ 25.000 και 70.000 παραπάνω θανάτους στην Δυτική Ευρώπη (United Nations DEWA/GRID, 2004). Όπως αναφέρουν οι Le Tertre et al. (2006) στην Γαλλία, από μελέτη των Hemon & Jouglu (2003) φάνηκε ότι η θερμοκρασία ήταν πάνω από 35° C από τις 4 έως τις 18/3/2003, δηλαδή πολύ παραπάνω από τη συνήθη θερμοκρασία, γεγονός που οδήγησε σε παρατηρούμενη αύξηση 60% της θνησιμότητας σε σύγκριση με την υπόλοιπη περίοδο (Le Tertre et al., 2006).

Σύμφωνα με μελέτη για τις επιδράσεις των κυμάτων καύσωνα στις ευρωπαϊκές πόλεις χρησιμοποιώντας δεδομένα από το 1990 έως και το 2004, η Αθήνα για παράδειγμα φάνηκε ότι κατά μέσο τα κύματα καύσωνα σημειώνουν αύξηση 21.6% (95% Δ.Ε.: 18.5% – 24.8%) στη συνολική θνησιμότητα, 34.5% (95% Δ.Ε.: 24.5% - 45.2%) για αναπνευστική θνησιμότητα και 28.4% (24% - 33%) για την καρδιαγγειακή θνησιμότητα (D'Ippoliti et al., 2010). Στην Αθήνα παρατηρήθηκε ένας σημαντικός καύσωνας τον Ιούλιο του 1987 στον οποίον αποδόθηκαν πάνω από 2000 θάνατοι (Katsouyanni et al 1993).

Τα αποτελέσματα για τις επιδράσεις των κυμάτων καύσωνα στη θνησιμότητα είναι αρκετά ετερογενή μεταξύ των πόλεων και σε διάφορες μελέτες έχει φανεί ότι οι επιδράσεις είναι μεγαλύτερες για τις μεσογειακές πόλεις (D'Ippoliti et al., 2010), παράγοντας που θα εξεταστεί στη συνέχεια.

### **Παράγοντες που ίσως επηρεάζουν την σχέση υψηλής θερμοκρασίας και θνησιμότητας**

Τα χαρακτηριστικά των κυμάτων καύσωνα αλλά και των πιο υψηλών σε σχέση με το συνηθισμένο θερμοκρασιών (γενικότερα της υψηλότερης θερμοκρασίας και της επίπτωσής της στη θνησιμότητα) τροποποιούνται αναλόγως των παρακάτω παραγόντων.

**Υγρασία.** Η υγρασία είναι ένας παράγοντας που σε πολλές μελέτες αναφέρεται συνδυαστικά με την θερμοκρασία είτε ως ένας ενιαίος δείκτης, είτε εντάσσεται στο μοντέλο ανάλυσης ως συμμεταβλητή (A Analitis et al., 2008). Αυτό συμβαίνει, διότι ειδικά στην εκτίμηση των επιδράσεων της υψηλής θερμοκρασίας, των επιδράσεων της θερμότητας δηλαδή στη θνησιμότητα, η υγρασία εμπλέκεται άμεσα, επειδή κατά τη διάρκεια των ζεστών ημερών, ο βαθμός υγρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος επηρεάζει την ικανότητα του σώματος «κρυώνει» μέσω του ιδρώτα και να χαμηλώνει τη θερμοκρασία του (Michelozzi et al., 2007). Υπάρχουν διάφορες μελέτες οι οποίες τεκμαίρουν τη χρήση της υγρασίας στα μοντέλα, συνδυαστικά ως δείκτης στη μεταβλητή εξωτερικής θερμοκρασίας («apparent temperature») (Michelozzi et al., 2007). Ωστόσο στις συνθήκες της Ευρώπης δεν ανιχνεύεται ανεξάρτητη επίδραση της υγρασίας στη θνησιμότητα.

**Γεωγραφικό πλάτος.** Όπως προαναφέρθηκε η σχέση της θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα ακολουθεί V- ή J- μορφή ή U-. Μάλιστα το σημείο της θερμοκρασίας στο οποίο παρατηρείται η ελάχιστη θνησιμότητα («Minimum Mortality Temperature») διαφοροποιείται αναλόγως του γεωγραφικού πλάτους που βρίσκεται ο πληθυσμός υπό έκθεση (Bao et al., 2016; Zafeiratou et al., 2019). Για παράδειγμα, σε μελέτη των Baccini et al. (2008) για τις επιπτώσεις της υψηλής θερμοκρασίας σε ευρωπαϊκές πόλεις, φάνηκε ότι το MMT ήταν χαμηλότερο για τις βόρειες πόλεις, ενώ ήταν υψηλότερο για τις νότιες πόλεις. Σχετικά αναφέρεται ότι το όριο της Αθήνας ήταν 30° C, όταν για τη Στοκχόλμη

ήταν 22° C (Baccini et al., 2008). Αναμενόμενο εύρημα δεδομένης της διαφοράς κλίματος και της σχετικής προσαρμογής του πληθυσμού στο συνηθισμένο κλίμα. Ενδιαφέρον εύρημα όμως είναι ότι η επίδραση της ζέστης(συγκεκριμένα η μέγιστη θερμοκρασία με συγκερασμένο δείκτη με την υγρασία[«maximum apparent temperature»]) είχε πιο απότομη κλίση στις βόρειες πόλεις από τις νότιες. Αυτό υποδηλώνει ότι είναι πιο έντονες οι επιπτώσεις της υψηλής θερμοκρασίας στο βορρά από ό,τι στο νότο, δηλαδή με πιο αυξημένο ρίσκο θνησιμότητας, κάτι που οι συγγραφείς αποδίδουν στην ικανότητα των ανθρώπων να προσαρμόζονται στο κλίμα τους (Baccini et al., 2008). Η επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας φάνηκε ότι ήταν πιο έντονη κατά την πρώτη εβδομάδα και μετά σταδιακά έφθινε.

**Αστική θερμική νησίδα «Urban Heat Island Effect».** Το φαινόμενο αυτό περιγράφεται από τον Oke (1982) ως μία μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας στην πόλη σε σύγκριση με τον περίγυρό της. Μάλιστα αυτό αποδίδεται στην μορφολογία της πόλης, στην κατασκευή δηλαδή των κτιρίων της, στα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και σε όλη την ανθρωπογενή δραστηριότητα και τους ρύπους που αυτή δημιουργεί (Oke, 1982). Επομένως, αυτή η υψηλότερη θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα και διαφορά στην επίπτωσή της στη θνησιμότητα σε σύγκριση με την επαρχία. Για παράδειγμα, οι Katsouyanni et al. (1993) αναφέρουν σε μελέτη τους για το κύμα καύσωνα του 1987 ότι η αύξηση της θνησιμότητας ήταν 97% στην Αθήνα, ενώ στην υπόλοιπα χώρα ήταν 33% (Katsouyanni et al., 1993). Ακόμη η επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα δεν είναι ομοιογενής σε όλη την πόλη. Διάφορες έρευνες έχουν δείξει ότι είναι υψηλότερη σε περιοχές με μεγαλύτερη θερμοκρασία επιφάνειας σε μία πόλη σε σύγκριση με περιοχές με πιο χαμηλή θερμοκρασία επιφάνειας (Klein Rosenthal et al., 2014). Ωστόσο, οι μελέτες χωρικών συγκρίσεων εντός πόλης δεν είναι συγκρίσιμες γιατί κάθε πόλη έχει μεγάλη ανομοιογένεια, είναι διαφορετική και έχει διαφορετικές συνθήκες που επιδρούν σε αυτή (Zafeiratou et al., 2019).

**Κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο.** Υπάρχουν και ορισμένες μελέτες που αναφέρουν και την επίδραση του κοινωνικο-οικονομικού επιπέδου στη σχέση θερμοκρασίας και θνησιμότητας. Οι Zafeiratou & Analitis (2019) αναφέρουν στα ευρήματά τους ότι η επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας στην Αθήνα τροποποιούταν από το κοινωνικο-επίπεδο, και συγκεκριμένα ότι μεγαλύτερη επίδραση παρατηρήθηκε σε περιοχές με

αυξημένη ανεργία, υψηλότερα ποσοστά αλλοεθνών εκτός Ε.Ε. και άτομα με χαμηλή εκπαίδευση. Οι Rosenthal et al. (2014) αναφέρουν ότι παρατηρήθηκαν υψηλότεροι ρυθμοί θνησιμότητας σχετιζόμενη με την υψηλή θερμοκρασία στις φτωχές γειτονίες της Νέας Υόρκης με άσχημες συνθήκες κατοίκησης σε σύγκριση με τις πιο εύπορες περιοχές (Klein Rosenthal et al., 2014). Τις διαφορές κατά κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο στην επίδραση της θερμοκρασίας επιβεβαιώνουν και άλλες μελέτες με αντίστοιχα αποτελέσματα (O'Neill et al., 2003). Σε μελέτη στις Η.Π.Α. φάνηκε ότι δύο δείκτες κοινωνικοοικονομικού επιπέδου ( ποσοστό ατόμων χωρίς βασική εκπαίδευση και άτομα που βιώνουν ένδεια πόρων) συσχετιζόνταν με αυξημένα επίπεδα θνησιμότητας από την επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας (Curriero et al., 2002).

**Ηλικιωμένοι (>65).** Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες όπου φαίνεται να αυξάνεται η επίδραση της θερμοκρασίας είναι η ηλικία. Υπάρχει μεγάλος όγκος μελετών που δείχνει ότι οι ηλικιωμένοι, δηλαδή άτομα άνω των 65 ετών αρχίζουν να εμφανίζουν μεγαλύτερο κίνδυνο θνησιμότητας τόσο συνολικής όσο και από καρδιαγγειακά ή αναπνευστικά αίτια (Moghadamnia et al., 2017). Για παράδειγμα, σύμφωνα με μία μελέτη που διεξήχθη σε 15 ευρωπαϊκές πόλεις για τους ανθρώπους άνω των 75 ετών η συνολική θνησιμότητα αυξάνεται για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας σε σχέση με ένα όριο θερμοκρασίας («threshold») για τις μεσογειακές πόλεις κατά 4,2% (95% Δ.Ε.: 1,3% – 7,2%) και για τις βόρειες πόλεις 2,1% (95% Δ.Ε.: 0,24% - 3,89%) (Baccini et al., 2008). Μάλιστα, για την αναπνευστική θνησιμότητα ήταν 8,1% (95% Δ.Ε.: 3,24 – 13,37%) και 6,6% (95% Δ.Ε.: 3,04% – 11,42%) αντίστοιχα (Baccini et al., 2008).

Ένα ακόμη παράδειγμα αφορά σε μελέτη στην Πορτογαλία για τις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα στην οποία φάνηκε ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από το συγκεκριμένο για κάθε πόλη όριο αυξανόταν ο κίνδυνος θνησιμότητας κατά 5,6% (95% Δ.Ε.: 4,6% – 6,6%), ενώ για τα άτομα άνω των 65 ετών ήταν 6,6% (95% Δ.Ε.: 5,5% – 7,7%) (Almeida et al., 2013). Αντίστοιχα για τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες ο κίνδυνος ήταν 8,51% (95% Δ.Ε.: 6,59% - 10,47%), ενώ για τους άνω των 65 ετών ήταν 9,19% (95% Δ.Ε.: 7,18% - 11,23%) και για τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες ήταν 5,28% (95% Δ.Ε.: 5,28% - 12,83%) ενώ για τους άνω των 65 ετών ήταν 9,49% (95% Δ.Ε.: 5,66% - 13,45%) (Almeida et al., 2013).

Σε μελέτη για τις επιδράσεις του καύσωνα στη θνησιμότητα τόσο τη συνολική όσο και καρδιαγγειακή και αναπνευστική σε ευρωπαϊκές πόλεις φάνηκε ότι προοδευτικά αυξάνεται η επίδραση με την ηλικία (D'Ippoliti et al., 2010). Αντίστοιχο εύρημα παρατηρείται και από μελέτη μετα-ανάλυσης για τις επιδράσεις της θερμοκρασίας στους ηλικιωμένους (άτομα άνω των 65 ετών). Σε αυτή αναφέρεται ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια θερμών περιόδων ο κίνδυνος ολικής θνησιμότητας αυξάνεται κατά 2 – 5% (Yu et al., 2012).

Ακόμη, όσον αφορά τις εκτιμήσεις της επίδρασης της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα, ειδικά στον πληθυσμό των ατόμων άνω των 65 ετών φάνηκε ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια ενός κύματος καύσωνα ο κίνδυνος αύξανε κατά 21,6% (90% Δ.Ε.: 18,5% - 24,8%) στην Αθήνα για τη συνολική θνησιμότητα (D'Ippoliti et al., 2010). Στην ίδια μελέτη για την αναπνευστική θνησιμότητα παρατηρήθηκε 34,5% αύξηση (90% Δ.Ε.: 24,6% - 45,2%) και για την καρδιαγγειακή θνησιμότητα 28,4% (90% Δ.Ε.: 24% - 33%) (D'Ippoliti et al., 2010).

**Ατμοσφαιρικοί ρύποι.** Ως ατμοσφαιρικοί ρύποι νοούνται διάφορες χημικές ουσίες («ρύποι») οι οποίες παράγονται στην ατμόσφαιρα κυρίως από την ανθρωπογενή δραστηριότητα αλλά και από ορισμένες φυσικές αιτίες και μπορούν να έχουν επιβλαβείς συνέπειες στην υγεία των ζωντανών οργανισμών και του οικοσυστήματος (D. A. VALLERO, 2008). Οι ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς παράγονται από διεργασίες. Τέτοιοι είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), το μονοξείδιο του Αζώτου (NO) και εν μέρει το NO<sub>2</sub>. Δευτερογενείς είναι οι ρύποι που προκύπτουν μέσα από αλληλεπιδράσεις με τους πρωτογενείς ρύπους στην ατμόσφαιρα. Τέτοιοι είναι εν μέρει το διοξείδιο του Αζώτου (NO<sub>2</sub>) και το όζον (O<sub>3</sub>). Στην βιβλιογραφία έχουν τεκμηριωθεί πολλές φορές οι αρνητικές συνέπειες των ατμοσφαιρικών ρύπων στην υγεία και στο περιβάλλον του ανθρώπου (D. A. VALLERO, 2008). Μάλιστα η συνδυαστική επίδραση των ρύπων και της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα ποικίλει ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και τα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής υπό ανάλυση (Analitis et al., 2014).

Όσον αφορά στο διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) έχει φανεί από διάφορες μελέτες ότι επηρεάζει τη θνησιμότητα συνδυαστικά με τη θερμοκρασία, αν και υπάρχουν και



ορισμένες που δείχνουν ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση. Πάντως, η γενική τάση φαίνεται να είναι ότι επηρεάζει, αλλά θέλει περαιτέρω διερεύνηση. Για παράδειγμα, σε μία μελέτη στην Αθήνα φάνηκε ότι η αλληλεπίδραση υψηλής θερμοκρασίας ( $> 30^{\circ} \text{C}$ ) και υψηλών συγκεντρώσεων  $\text{SO}_2$  ήταν στατιστικώς σημαντική σχέση (Katsouyanni et al., 1993).

Δύο ρύποι που οι περισσότερες μελέτες κλίνουν στο ότι έχουν αλληλεπίδραση με την θερμοκρασία είναι το όζον και το  $\text{PM}_{10}$ . Όσον αφορά στο Όζον υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες που αποδεικνύουν τη συνεργατική του επίδραση με την θερμοκρασία στη θνησιμότητα. Για παράδειγμα σε μελέτη στις Η.Π.Α. φάνηκε ότι για  $10^{\circ} \text{C}$  αύξηση της θερμοκρασίας οι καρδιαγγειακοί θάνατοι αυξήθηκαν κατά 1,17% σε μέρες χαμηλής συγκέντρωσης όζοντος και 8,31% σε μέρες υψηλής συγκέντρωσης (C Ren et al., 2008). . Ακόμη, οι Analitis et al (2014) μέσω του EuroHEAT project βρήκαν ότι ο αριθμός των θανάτων κατά τη διάρκεια ενός κύματος καύσωνα είναι 54% μεγαλύτερος τις ημέρες που υπήρχε υψηλή συγκέντρωση όζοντος στην ατμόσφαιρα σε σύγκριση με τις μέρες χαμηλής συγκέντρωσης για τους ηλικιωμένους 75 – 84 ετών. Ακόμη παρατηρήθηκε στην ίδια μελέτη ότι υπήρχαν επιδράσεις στην καρδιαγγειακή και στην αναπνευστική θνησιμότητα και ότι η επίδραση του κύματος καύσωνα ήταν μικρότερη όταν εισαγόταν και το όζον (κατά περίπου 15 έως 25%) ή το  $\text{PM}_{10}$  (περίπου 30%) στο μοντέλο. Μικρότερη μείωση βρέθηκε για τους ρύπους  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  και  $\text{CO}$  (περίπου 10%) (Analitis et al., 2014). Μάλιστα αυτή η σχέση αλληλεπίδρασης του  $\text{PM}_{10}$  ή του όζοντος με την θερμοκρασία επιβεβαιώνεται και στο project PHASE, στο οποίο φάνηκε ότι στις ημέρες υψηλής συγκέντρωσης όζοντος υπήρχε αύξηση 2,20% (95% Δ.Ε.: 1,28% – 3,13%) έναντι των ημερών χαμηλής συγκέντρωσης όπου η αύξηση ήταν 1,84% (95% Δ.Ε.: 0,87% – 2,82%) για κάθε μία μονάδα αύξησης ενός δείκτη υγρασίας και θερμοκρασίας («apparent temperature») (Analitis et al., 2018). Ακόμη, στην ίδια έρευνα φάνηκε ότι υπήρχε στατιστικώς σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ της θερμοκρασίας και του  $\text{PM}_{10}$  για τη θνησιμότητα από καρδιαγγειακά αίτια (Analitis et al., 2018).

Σε μελέτη στην Ιταλία φάνηκε έντονα η γεωγραφική διαφορά των αποτελεσμάτων αλλά και της αλληλεπίδρασης ρύπων και θερμοκρασίας στην επίδρασή τους στη θνησιμότητα. Έτσι, για τον Βορρά για κάθε μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας η θνησιμότητα αυξήθηκε κατά 3,9% (95% Δ.Ε.: 2,1% - 10,2%) σε μέρες χαμηλής συγκέντρωσης  $\text{PM}_{10}$  και 14,1% (95% Δ.Ε.: 10% – 18,3%) σε συνθήκες υψηλής

συγκέντρωσης, ενώ στις νότιες πόλεις ήταν 7,5% (95% Δ.Ε.: 1,6 – 17,3%) και 21,6% (95% Δ.Ε.: 4,2 – 41,9) αντίστοιχα (Scortichini et al., 2018). Πρόκειται για ένα στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα, που όμως φέρει αβεβαιότητα ως προς την ποσοτική του εκτίμηση.

Επομένως, οι περισσότερες μελέτες που δείχνουν την αλληλεπίδραση των ρύπων με τη θερμοκρασία και την επίδρασή τους στη θνησιμότητα (Cizao Ren et al., 2006; Roberts, 2004). Ωστόσο υπάρχουν, και μελέτες που δεν έχουν εντοπίσει αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των ρύπων και της θερμοκρασίας (Basu et al., 2008; Hales et al., 2000) και επομένως είναι χρήσιμο να μελετηθεί περαιτέρω.

**Μακροχρόνια τάσεις («Long-term trends»).** Αλλαγές στο σύστημα υγείας ή στο βιοτικό επίπεδο, μεταβολές στον πληθυσμό και διάφοροι άλλοι παράγοντες που τροποποιούν τη θνησιμότητα στις μελέτες χρονοσειρών «ελέγχονται» μέσα από τα «long-term trends», δηλαδή μέσα από γραμμές τάσεις. Η γραμμή παλινδρόμησης του μοντέλου της σχέσης μεταξύ θερμοκρασίας και θνησιμότητας εξομαλύνεται, ώστε να ακολουθεί όσο γίνεται καλύτερα τα δεδομένα, χωρίς ωστόσο να φτάσει σε σημείο να χάσει μεγάλο μέρος πληροφοριών. Έτσι γίνεται διόρθωση για τυχαίες αυξομειώσεις λόγω αυτών των μακροπρόθεσμων αλλαγών – παραγόντων, ώστε να απομονωθεί η έκθεση ενδιαφέροντος (Bhaskaran et al., 2013). Ακόμη τα παραπάνω γίνονται και για τον έλεγχο της εποχικότητας («seasonal trends»).

**Λοιποί παράγοντες που αφορούν στη μεταβλητή έκβασης.** Σε ορισμένες μελέτες έχει φανεί ότι ο κίνδυνος είναι ελαφρώς μεγαλύτερος για τις γυναίκες σε σύγκριση με τους άνδρες, όσον αφορά στις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα (Moghadamnia et al., 2017). Για παράδειγμα σε μετα-ανάλυση φάνηκε ότι η έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία αύξανε τον κίνδυνο καρδιαγγειακής θνησιμότητας κατά 1,1% (95% Δ.Ε.: 0,9% – 1,3%), ενώ για τις γυναίκες κατά 1,4% (95% Δ.Ε.: 1,1% – 1,7%). Ακόμη, σε ανάλυση του προγράμματος EuroHeat, φάνηκε ότι για αναπνευστικούς θανάτους από κύμα καύσωνα ο κίνδυνος ήταν μεγαλύτερος για τις γυναίκες ηλικίας 75 – 84 ετών, ενώ μάλιστα μετά τα 85 η διαφορά στην αλλαγή του κινδύνου ήταν πολύ μεγάλη για τις βόρειες ευρωπαϊκές πόλεις της μελέτης, σε αυτή δηλαδή τη μελέτη ήταν σημαντική η διαφορά τόσο της ηλικίας όσο και του φύλου (D'Ippoliti et al., 2010). Ωστόσο, σε μετα-ανάλυση φάνηκε ότι το φύλο δεν τροποποιεί στατιστικώς σημαντικά τη σχέση θερμοκρασίας και θνησιμότητας (Moghadamnia et al., 2017). Επομένως, το φύλο ως παράγοντας χρήζει

περαιτέρω διερεύνησης, καθώς δεν βρίσκουν όλες οι μελέτες στατιστικώς σημαντική σχέση. Ακόμη, άνθρωποι με χρόνια νοσήματα, όπως διαβήτης, ψυχιατρικές και νευρολογικές διαταραχές κ.λπ. έχει φανεί ότι έχουν υψηλότερο κίνδυνο θνησιμότητας με την υψηλή θερμοκρασία (Baccini et al., 2008; Schifano et al., 2009).

**Λοιποί παράγοντες υπό μελέτη.** Παράγοντες οι οποίοι εισάγονται στις αναλύσεις για τη σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και τη θνησιμότητα σε βραχυπρόθεσμη λογική είναι η ημέρα της εβδομάδας, δείκτης για τις διακοπές, ο μήνας, ο πληθυσμός κατά τη διάρκεια των θερινών διακοπών κ.λπ.. Επίσης, περιλαμβάνονται και διάφοροι μετεωρολογικοί παράγοντες, όπως η βαρομετρική πίεση, η ταχύτητα του ανέμου, η εμφάνιση βροχοπτώσεων κ.λπ. (Braga et al., 2002; Moghadamnia et al., 2017).

## **2.2. Επιδράσεις χαμηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα («short-term cold effects on mortality»).**

Στην ερευνητική βιβλιογραφία παρατηρείται ότι η θνησιμότητα εμφανίζει εποχικότητα, δηλαδή διαφοροποιείται ανάλογα με την εποχή. Μάλιστα το μεγαλύτερο μέρος των θανάτων εμφανίζεται κατά τους χειμερινούς μήνες, καθώς επίσης και κατά τη διάρκεια των πιο θερμών ημερών του καλοκαιριού (Bao et al., 2016; Kilbourne, 1999). Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνεται από διάφορες μελέτες (Bao et al., 2016; Marti-Soler et al., 2014).

Η εποχικότητα αυτή έχει οδηγήσει την έρευνα να εστιάσει στις επιδράσεις της αρκετά υψηλής θερμοκρασίας, είτε με τη μορφή των κυμάτων καύσωνα είτε με τη μορφή της ασυνήθιστα υψηλής θερμοκρασίας για μία περιοχή, αφενός επειδή όταν συμβαίνουν έχουν έντονα αρνητικές επιδράσεις στην υγεία αφετέρου, επειδή σύμφωνα με προβλέψεις αναμένεται να αυξηθεί η θερμοκρασία με την κλιματική αλλαγή (Stocker et al., 2013) (Pascal et al., 2018). Ενώ ένα άλλο μέρος της έρευνας εστιάζει στις επιδράσεις του κρύου, οι οποίες αν και δεν είναι τόσο έντονες και άμεσες όσο οι επιδράσεις της θερμής θερμοκρασίας, διαρκούν για διάστημα εβδομάδων και αφήνουν έντονο αντίκτυπο στη θνησιμότητα είτε ως απόλυτες χαμηλές ή μέτρια χαμηλές θερμοκρασίες είτε με την μορφή κυμάτων κρύου («cold spells») (Pascal et al., 2018).

Όσον αφορά στην έκθεση σε ήπια χαμηλές για μία περιοχή θερμοκρασίες, δηλαδή ήπια κρύες μέρες αρκετές έρευνες δείχνουν ότι μεταξύ 3% και 11% της θνησιμότητας θα μπορούσε να αποδοθεί στις πιο ήπια κρύες μέρες, οι οποίες καταλαμβάνουν και μεγαλύτερο μέρος των ημερών του χρόνου (Gasparri et al., 2015). Σε μελέτη στη Γαλλία αναφέρεται ότι ένα μεγάλο μέρος της θνησιμότητας αποδιδόταν στο 2,5% με 25% της κατανομής της θερμοκρασίας, δηλαδή στις ήπια χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ ένα πολύ χαμηλό ποσοστό της θνησιμότητας αφορούσε θερμοκρασίας κάτω του 0,1% της κατανομής, δηλαδή ακραία χαμηλές (Pascal et al., 2018).

Όσον αφορά στην επίδραση του κρύου στη θνησιμότητα και στη χρονική διάρκεια αυτής της επίδρασης, οι περισσότερες μελέτες συμφωνούν ότι η επίδραση εκτείνεται πέρα των 7 ημερών, συνήθως έως 15 ημέρες τόσο σε μελέτες στις Η.Π.Α. όσο και σε μελέτες της Ευρώπης (Ballester et al., 1997; Braga et al., 2002; Michelozzi et al., 2007). Ωστόσο,

υπάρχουν και μελέτες που εκτιμούν ότι η επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα είναι μεγαλύτερη, όπως μία μελέτη για τις επιδράσεις του κρύου στη Γαλλία, η οποία εντόπισε ότι η επίδραση των πιο κρύων ημερών εντοπιζόταν έως και 21 μέρες μετά (Pascal et al., 2018). Συγκεκριμένα στη μελέτη τους, οι Pascal et al (2018) αναφέρουν ότι ένα 40% της θνησιμότητας που οφείλεται στο κρύο συμβαίνει εντός των 3 πρώτων ημερών μετά την έκθεση και έπειτα σταδιακά το ποσοστό αυτό φθίνει για χρονικό διάστημα 21 ημερών (Pascal et al., 2018). Αντίστοιχα σε μελέτη στην Κίνα φάνηκε ότι οι ακραία χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να επιδρούν στη θνησιμότητα ακόμη και μετά από 21 μέρες (Bao et al., 2016) ενώ σε άλλη μελέτη έως και 25 μέρες (Huang et al., 2014).

Όσον αφορά στο μέγεθος της επίδρασης του κρύου στη θνησιμότητα και στις ειδικές αιτίες της υπάρχουν αρκετές μελέτες που έχουν καταλήξει σε διάφορα μεγέθη, αναλόγως των μεταβλητών που λαμβάνονται υπόψιν, της περιοχής κ.λπ. Μελέτη σε 15 ευρωπαϊκές πόλεις έδειξε ότι για κάθε μία μονάδα μείωσης της θερμοκρασίας ο αριθμός των θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες αυξανόταν κατά 1,35% (95% Δ.Ε.: 1,16% – 1,53%), 1,72% (95% Δ.Ε.: 1,44% – 2,01%) για την καρδιαγγειακή θνησιμότητα και 3,30% (95% Δ.Ε.: 2,61% - 3,99%) για την αναπνευστική θνησιμότητα (Analitis et al., 2008). Σε μελέτη μετα-ανάλυσης φάνηκε ότι για κάθε μία μονάδα μείωσης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλές θερμοκρασίας η θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες αυξάνεται κατά 1% έως 2% (Yu et al., 2012).

Σύμφωνα με μία άλλη μετα-ανάλυση διαφόρων άρθρων της ερευνητικής βιβλιογραφίας για κάθε μία μονάδα μείωσης της θερμοκρασίας αυξάνεται η καρδιαγγειακή θνησιμότητα κατά 5% (95% Δ.Ε.: 5% – 6%) (Moghadamnia et al., 2017). Ακόμη, σε μελέτη από 19 χώρες παγκοσμίως φάνηκε ότι η χειμερινή περίοδος σχετίζεται με αυξημένα ποσοστά παρατηρούμενων καρδιαγγειακών θανάτων σε σύγκριση με τις υπόλοιπες εποχές του έτους (Marti-Soler et al., 2014).

Τέλος, πολλές μελέτες συγκλίνουν στο ότι η σχέση θερμοκρασίας και κρύου είναι γραμμική, δηλαδή όσο μειώνεται η θερμοκρασία αυξάνεται ανάλογα η θνησιμότητα (Eurowinter Group, 1997).

### **Παράγοντες που ίσως επηρεάζουν την σχέση χαμηλής θερμοκρασίας και θνησιμότητας**

**Υγρασία.** Ένας παράγοντας που στην βιβλιογραφία εμφανίζεται συχνά στους σχεδιασμούς είναι η υγρασία. Η υγρασία είτε εντάσσεται ως μεταβλητή στο μοντέλο ανάλυσης είτε χρησιμοποιείται για τη δημιουργία σύνθετης έκθεσης, δηλαδή έκθεση που περιλαμβάνει δείκτη θερμοκρασίας και υγρασίας (Analitis et al., 2008). Αυτό γίνεται, διότι υποτίθεται ότι με αυτό τον τρόπο λαμβάνεται υπόψιν η δυσκολία που προκαλεί ο συνδυασμός των δύο. Σύμφωνα με την Healy (2003), υψηλά επίπεδα υγρασίας λειτουργούν συνδυαστικά με την χαμηλή θερμοκρασία και αυξάνουν τη θνησιμότητα που σχετίζεται με το κρύο (Analitis et al., 2008; Healy, 2003).

**Ηλικία (>65 ετών).** Ένας παράγοντας, ο οποίος παίζει ρόλο τόσο στις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα (από όλες τις φυσικές αιτίες, καρδιαγγειακή και αναπνευστική) είναι η ηλικία. Σε ευρωπαϊκή μελέτη φάνηκε ότι η επίδραση της θερμοκρασίας ήταν για τα άτομα άνω των 65 ετών ήταν σημαντικά μεγαλύτερη. Συγκεκριμένα για κάθε μία μονάδα αύξησης της εξωτερικής θερμοκρασίας πάνω από τους 18° C, υπήρχε 47,7% (95% Δ.Ε.: 12,7% - 93,4%) αύξησης της θνησιμότητας από όλες τις φυσικές αιτίες, όταν ο αντίστοιχος δείκτης για όλες τις ηλικίες ήταν 5% (95% Δ.Ε.: 2% - 8%) (Eurowinter Group, 1997). Σε μεταγενέστερη ευρωπαϊκή μελέτη σε 15 πόλεις οι επιδράσεις στους ηλικιωμένους ήταν σημαντικά μεγαλύτερες. Συγκεκριμένα, για κάθε μία μονάδα μείωσης της ελάχιστης εξωτερικής θερμοκρασίας («Minimum apparent temperature») κατά τη διάρκεια της χειμερινής σεζόν («Οκτώβριος – Μάρτιος») ο καθημερινός αριθμός θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες αυξανόταν κατά 86% (95% Δ.Ε.: 70% - 202%), όταν ο αντίστοιχος για όλες τις ηλικίες ήταν 41% (95% Δ.Ε.: 28% - 53%) (Analitis et al., 2008). Μάλιστα, στην ίδια μελέτη σημειώνεται ότι υπήρχε σταδιακά αυξανόμενη επίδραση της θερμοκρασίας με την ηλικία, με το μεγαλύτερο βαθμό επίδρασης να παρατηρείται στους ηλικιωμένους (Analitis et al., 2008).

Αντίστοιχα, σε μελέτη που περιελάμβανε 11 πολιτείες των Η.Π.Α. αναφέρεται ότι παρατηρήθηκε μεγαλύτερη επίδραση της χαμηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα ατόμων άνω των 75 ετών (Currigero et al., 2002). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει και μελέτη στην Ισπανία, στην οποία φάνηκε ότι για κάθε μία μονάδα μείωσης της θερμοκρασίας ο σχετικός κίνδυνος ο οποίος είχε χωριστεί σε περιόδους χρονοϋστέρησης ήταν μεγαλύτερος για τους ηλικιωμένους (Ballester et al., 1997). Για παράδειγμα, 3 με 6 ημέρες κατόπιν της

έκθεσης στο κρύο ο κίνδυνος συνολικά για όλες τις ηλικίες ήταν 1,6% (95% Δ.Ε.: 0,4% - 2,8%) αύξηση του κινδύνου θνησιμότητας ανά μονάδα μείωσης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια χειμερινής περιόδου (Νοέμβριος – Απρίλιος), ενώ για τους ηλικιωμένους ήταν 2,4% αύξησης κινδύνου (95% Δ.Ε.: 1,1% - 3,7%) (Ballester et al., 1997).

**Ατμοσφαιρικοί ρύποι.** Διάφορες μελέτες έχουν αξιολογήσει την επίδραση των ρύπων στη σχέση μεταξύ χαμηλής θερμοκρασίας και θνησιμότητας, αν και σημαντικά λιγότερες σε σύγκριση με αυτές που ερευνούν την επίδραση των ρύπων στη σχέση υψηλής θερμοκρασίας και θνησιμότητας. Σε μελέτη στην Ευρώπη φάνηκε ότι το PM<sub>10</sub>, το όζον και το διοξείδιο του νατρίου δεν εμφανίζουν συνέργεια με το κρύο (Analitis et al., 2018). Το ίδιο ισχύει και από μελέτη στην Κίνα, στην οποία συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο εξέτασης των επιδράσεων της χαμηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα και η συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>), τα σωματίδια PM<sub>10</sub> και το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και δεν φάνηκε να αλλάζουν στατιστικώς σημαντικά τις επιδράσεις (Yi & Chan, 2015). Γενικότερα η συνέργεια μεταξύ ατμοσφαιρικής ρύπανσης και χαμηλών θερμοκρασιών, δηλαδή επίδρασης του «κρύου» χρειάζεται μεγαλύτερη διερεύνηση.

**Γεωγραφικό πλάτος.** Όπως και στις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας έτσι και στις χαμηλής φαίνεται ότι το γεωγραφικό πλάτος αποτελεί σημαντικό παράγοντα διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων (Curriero et al., 2002).

Για παράδειγμα σε ευρωπαϊκή μελέτη του «Eurowinter Group» (1997) για τις επιδράσεις του κρύου στη θνησιμότητα και σε διάφορες αιτίες της, φάνηκε ότι στις μεσογειακές περιοχές η επίδραση του κρύου ήταν ισχυρότερη σε σύγκριση με τις βόρειες περιοχές κυρίως για τη θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες. Επεξηγηματικά, για κάθε μία μονάδα μείωσης της θερμοκρασίας κάτω από τους 18° C η θνησιμότητα αυξανόταν κατά 2,15% (95% Δ.Ε.: 1,20% - 3,10%) για την Αθήνα, ενώ για την Φινλανδία αυξανόταν κατά 0,27% (95% Δ.Ε.: 0,15% - 0,40%) (Eurowinter Group, 1997).

Σε άλλη ευρωπαϊκή μελέτη που περιελάμβανε 15 ευρωπαϊκές πόλεις, για κάθε μία μονάδα μείωσης της ελάχιστης εξωτερικής θερμοκρασίας («Minimum apparent temperature») κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου («Οκτώβριος – Μάρτιος») ο καθημερινός αριθμός θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες αυξανόταν κατά 62% (95%

Δ.Ε.:44% - 80%) για τις μεσογειακές πόλεις και 16% (95% Δ.Ε.: 4% - 28%). Για την καρδιαγγειακή θνησιμότητα ήταν 2,29 φορές μεγαλύτερη (95% Δ.Ε.: 2,02 – 2,56) για μεσογειακές και 41% (95% Δ.Ε.:24% - 58%), ενώ για αναπνευστική ήταν 2,98 φορές (95% Δ.Ε.:2,28 – 3,68) για τις μεσογειακές και 3,87 φορές (95% Δ.Ε.:3,41 – 4,33) για τις βόρειες χώρες (Analitis et al., 2008). Αντίστοιχα, σε μελέτη για τις επιδράσεις του κρύου στη θνησιμότητα στην Ευρώπη η Healy (2003) βρήκε ότι στις νότιες χώρες υπήρχε μεγαλύτερος βαθμός επέλευσης επιπλέον χειμερινών θανάτων («excess winter mortality») σε σύγκριση με τις βόρειες

Επίσης, σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Κίνα για τις επιδράσεις ακραία χαμηλής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των πιο κρύων μηνών του έτους (Δεκέμβριος – Μάρτιος) φάνηκε ότι υπήρχε αυξημένος κίνδυνος για διάφορες περιοχές κυμαινόμενος από 2,38 φορές (95% Δ.Ε.:1,35 – 4,19) για την «Changsa» έως 4,78 φορές (95% Δ.Ε.: 3,63 – 6,29) για την «Wuhan», αναλόγως του γεωγραφικού τους πλάτους (Bao et al., 2016).

Σε μελέτη σε 11 πολιτείες των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (Η.Π.Α.) φάνηκε ότι οι νότιες πολιτείες είχαν πιο απότομη κλίση παλινδρόμησης όσον αφορά στον κίνδυνο θνησιμότητας (συνολικής αλλά και καρδιαγγειακών, αναπνευστικών αιτιών), από ό,τι οι βόρειες (Curriero et al., 2002). Μάλιστα, το παραπάνω συνέβαινε με τις πιο κρύες θερμοκρασίες του έτους, με τη θερμοκρασία όλης της χειμερινής περιόδου αλλά και κατά τη διάρκεια της άνοιξης, όπου ο κίνδυνος θνησιμότητας, όταν οι θερμοκρασίες ήταν χαμηλές, ήταν ιδιαίτερα αυξημένος στις πιο νότιες πόλεις (Curriero et al., 2002). Ακόμη, στην ίδια μελέτη φάνηκε ότι οι βόρειες πόλεις είχαν χαμηλότερη θερμοκρασία ελάχιστης θνησιμότητας («minimum mortality temperature») σε σύγκριση με τις νότιες, γεγονός το οποίο σύμφωνα με τους συγγραφείς υποδήλωνε ότι οι βόρειες πόλεις έχουν καλύτερη προσαρμογή στο κρύο από ό,τι οι νότιες (Curriero et al., 2002).

**Αναπνευστικές λοιμώξεις.** Σύμφωνα με μελέτες η εμφάνιση αναπνευστικών λοιμώξεων και συγκεκριμένα η εποχική γρίπη («influenza») είναι πιο συχνή το χειμώνα (Bao et al., 2016). Μάλιστα, ένας μηχανισμός που έχει προταθεί για την αυξημένη εμφάνισή τους είναι η βιολογική σχέση της εμφάνισης λοιμώξεων με καρδιαγγειακές παθήσεις και τον αυξημένο κίνδυνο θνησιμότητας που συνοδεύει τις καρδιαγγειακές παθήσεις η έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες (Martí-Soler et al., 2014). Σε μελέτη στην



Ιρλανδία φάνηκε ότι αθροιστικά σε περίοδο τριών εβδομάδων με χαμηλές θερμοκρασίες η αθροιστική θνησιμότητα λόγω αναπνευστικών λοιμώξεων αυξήθηκε κατά 11,2% (95% Δ.Ε.: 7,1% - 15,3%).

Επομένως, φαίνεται ότι οι αναπνευστικές λοιμώξεις συνδέονται με το κρύο και τις επιδράσεις του στον οργανισμό. Έτσι, παρόλο που από κάποιες μελέτες έχει φανεί ότι δεν είναι συγχυτικός παράγοντας για τις επιδράσεις του κρύου, προτείνεται να συμπεριλαμβάνεται στα μοντέλα ανάλυσης, διότι οδηγεί πιο έγκυρα αποτελέσματα, καθώς μειώνει ένα μέρος της μεταβλητότητας (περίπου 18% σε μελέτη στις Η.Π.Α.) (von Klot et al., 2012).

**Λοιποί παράγοντες υπό μελέτη.** Οι ίδιοι παράγοντες που αναφέρθηκαν στην υψηλή θερμοκρασία ισχύουν και για την χαμηλή αντίστοιχα. Πολλές συμεταβλητές εισάγονται στα μοντέλα, ώστε να διασαφηνιστεί η συγχυτική τους επίδραση. Και στα μοντέλα για τη διερεύνηση της επίδρασης της χαμηλής θερμοκρασίας λαμβάνονται υπόψιν οι μακροχρόνιες τάσεις.

**Φύλο.** Όσον αφορά στο φύλο και εδώ υπάρχουν λίγες μελέτες που δείχνουν μία διαφοροποίηση του μεγέθους επίδρασης της χαμηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα. Για παράδειγμα, σε ευρωπαϊκή μελέτη φάνηκε ότι το φύλο έπαιξε ρόλο μόνο στην αναπνευστική θνησιμότητα, με αυτή να είναι αυξημένη για τις γυναίκες: 36% (95% Δ.Ε.: 5%, 267%) αύξηση θνησιμότητας για κάθε μία μονάδα μείωσης της θερμοκρασίας κάτω από τους 18° C (Eurowinter Group, 1997). Ακόμη, σε μελέτη μετα-ανάλυσης φάνηκε ότι κατά τη διάρκεια έκθεσης στο κρύο ο κίνδυνος καρδιαγγειακής θνησιμότητας ήταν 3,8% (95% Δ.Ε.: 3,4% - 4,3%) μεγαλύτερος για τους άνδρες (Moghadamnia et al., 2017). Υπάρχουν και πολλές μελέτες που δεν αναδεικνύουν στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ ανδρών και γυναικών ως προς την έκβαση, δηλαδή τη θνησιμότητα, επομένως, είναι αντικείμενο έρευνας.

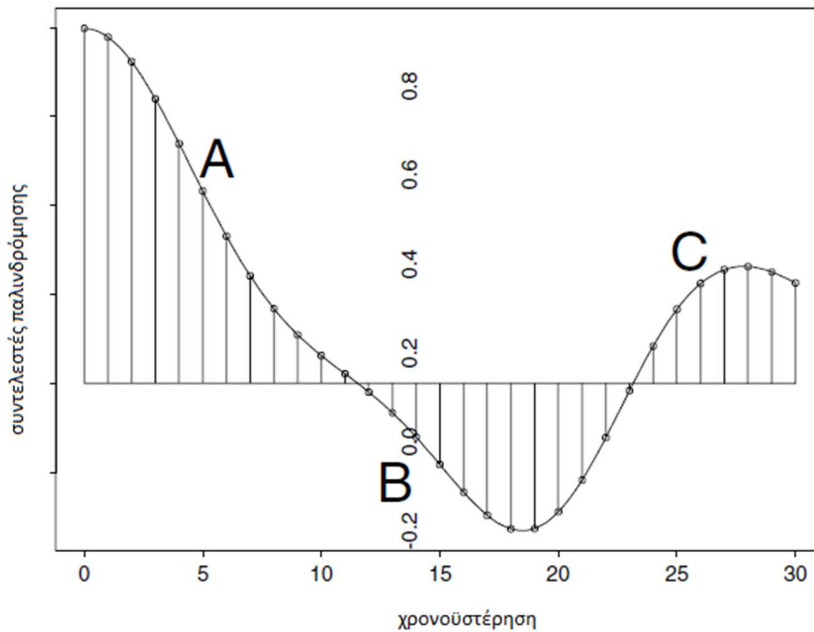
**Κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο.** Επίσης, ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι έχει φανεί ότι επηρεάζουν αυτή τη σχέση βιβλιογραφικά είναι ο ρουχισμός, η θέρμανση του σπιτιού και η φυσική άσκηση στον εξωτερικό χώρο όταν υπάρχει χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία (Curriero et al., 2002; Eurowinter Group, 1997). Γενικότερα παράγοντες κοινωνικο-οικονομικού επιπέδου, όπως η ύπαρξη ή μη κλιματισμού, πηγής θέρμανσης ή το πόσο νέο είναι ένα σπίτι, φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο, διότι επηρεάζουν την

δυνατότητα θέρμανσης ή ψύξης του σπιτιού μέσω κλιματισμού με συνέπεια να επηρεάζουν την έκθεση του ατόμου στις αρνητικές επιδράσεις της θερμοκρασίας (Moghadamnia et al., 2017).

### **3. Το φαινόμενο της μετατόπισης της θνησιμότητας «mortality displacement / harvesting / deaths brought forward»**

Όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες ενότητες, διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι οι επιδράσεις της υψηλής ή της χαμηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα, δεν είναι μόνο άμεσες αλλά εκτείνονται σε ένα διάστημα χρόνου. Αυτό το διάστημα κυμαίνεται σε έως 3 μέρες για τις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας και έως και 25 μέρες στις επιδράσεις της χαμηλής θερμοκρασίας (Ballester et al., 1997; Braga et al., 2002; Huang et al., 2014; Michelozzi et al., 2007).

Ένα ζήτημα το οποίο προκύπτει κατά επέκταση είναι αν ο αριθμός των θανάτων που παρατηρούνται μετά από κάποιο χρονικό διάστημα από περιόδους με ασυνήθιστα υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες αποτελείται από ανθρώπους που θα απεβίωναν σε σύντομο χρονικό διάστημα από φυσικά αίτια δίχως την έκθεση, δηλαδή ήρθε λίγο πιο νωρίς ο θάνατός τους ή αποτελείται από ανθρώπους που θα επιβίωναν τουλάχιστον 6 ή 12 μήνες και λόγω της έκθεσης απεβίωσαν αρκετά νωρίτερα (Antonella Zanobetti & O'Neill, 2018). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο «μετατόπισης της θνησιμότητας» («harvesting effect») και επεξηγείται και στο παρακάτω υποθετικό γράφημα από δημοσιευμένη μελέτη:



Σχήμα 1. Συντελεστές παλινδρόμησης σε συνάρτηση με χρονοϋστέρηση μοντέλου παλινδρόμησης. Πηγή: (A Zanobetti et al., 2000)

Στο γράφημα παρατηρούνται τα εξής: Οι ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως οι ασυνήθιστα για μία περιοχή υψηλές θερμοκρασίες ή οι ασυνήθιστα χαμηλές θερμοκρασίες συχνά παρατηρείται ότι συσχετίζονται με μία απότομη αύξηση της θνησιμότητας τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά από την εμφάνισή τους (Rehill et al., 2015). Κατόπιν όμως παρατηρείται μία ασυνήθιστη, σημαντική μείωση της θνησιμότητας που φυσιολογικά δεν θα μπορούσε να αναμένεται, καθώς «έπαυσε» η έκθεση. Επομένως, φαίνεται ότι η επίδραση της έκθεσης οδήγησε στο να συμβούν νωρίτερα ορισμένοι θάνατοι από ό,τι αυτοί θα συνέβαιναν. Αυτό μπορεί να αφορά συγκεκριμένα σε ένα μέρος του πληθυσμού το οποίο είναι πιο ευάλωτο ως προς την υγεία του (ηλικιωμένοι, χρόνια νοσούντες κ.λπ.) και το οποίο πεθαίνει λίγο πιο νωρίς από ό,τι υπό φυσιολογικές συνθήκες θα πέθαινε («harvesting») (Antonella Zanobetti & O'Neill, 2018). Όμως, αυτό μπορεί να συμβαίνει σε μεγαλύτερη κλίμακα και να πεθαίνουν νωρίτερα λόγω των μετεωρολογικών συνθηκών και άνθρωποι, που, εάν δεν υπήρχε η έκθεση, θα συνέχιζαν τη ζωή τους. Μάλιστα, αυτό μπορεί να συμβαίνει όχι μόνο σε κλίμακα ορισμένων ημερών ή εβδομάδων αλλά και σε κλίμακα μηνών ή χρόνου (Goggins et al., 2015). Οι απαντήσεις στις δύο παραπάνω

υποθέσεις έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι καθορίζουν και τις αντίστοιχες επιδημιολογικές παρεμβάσεις από πλευράς δημόσιας υγείας (Armstrong et al., 2017).

Επομένως, διαφαίνεται ότι το φαινόμενο της «μετατόπισης της θνησιμότητας» σχετίζεται άμεσα με το πόσο καιρό μετατοπίζεται ένας θάνατος, την διάρκεια δηλαδή της μετατόπισης (Goggins et al., 2015). Πολλές μελέτες που χρησιμοποιούν τεχνικές χρονοσειρών με κατανεμημένη χρονοϋστέρηση (distributed lag models) και παρόμοιες τέτοιες τεχνικές για την εκτίμηση της «μετατόπισης της θνησιμότητας», την τοποθετούν όσον αφορά στις επιδράσεις ενός ακραίου καύσωνα σε διάστημα 1-3 ημερών κατόπιν του καύσωνα, ενώ για συνθήκες ακραίου ψύχους την τοποθετούν έως και 3 ή 4 εβδομάδες (Rehill et al., 2015, Armstrong et al., 2017).

Το θέμα του «harvesting» άρχισε από μελέτες βραχυπρόθεσμων επιδράσεων της θερμοκρασίας (Hajat et al., 2005) και κατόπιν φάνηκε από άλλες μελέτες ότι επηρεάζει μία εποχική περίοδο την επόμενη όσον αφορά στη θνησιμότητα που εμφανίζει: για παράδειγμα στην Αυστραλία βρέθηκε ότι όταν υπήρχε χαμηλή θνησιμότητα το χειμώνα ο καύσωνας του καλοκαιριού είχε μεγαλύτερη επίδραση στη θνησιμότητα, όπως αναφέρουν στη μελέτη τους οι Saha et al. (2014). Ακόμη οι Rocklöv et al (2009) παρατήρησαν ότι σε χρόνια με χειμώνες πολύ κρύους παρατηρήθηκαν καλοκαίρια με λιγότερους θανάτους. Από αυτό συμπεραίνουν και οι συγγραφείς ότι έγινε μετατόπιση ορισμένων θανάτων πιο νωρίς από ό,τι θα συνέβαιναν.

Ωστόσο, όπως αναφέρουν μεταξύ άλλων και οι Armstrong et al (2017) για να εντοπιστούν τέτοια φαινόμενα χρειάζονται μοντέλα που να ανιχνεύουν τις επιδράσεις με πιο μακροπρόθεσμο σχεδιασμό και να πραγματοποιούν εκτίμηση σε διάστημα μηνών ή και ετών. Σύμφωνα με τους ίδιους, το χρονικό διάστημα θα μπορούσε να αποσαφηνιστεί μέσα από συσχετισμούς αθροιστικούς για θνησιμότητα και για θερμοκρασία ανά έτος, όπου αναλόγως με το αν ήταν 0 (καθόλου) ή 1 (πλήρης) ο συσχετισμός θα μπορούσε να διαφανεί το πόσο μετατοπίστηκαν οι θάνατοι σε κλίμακα έτους. Τέτοιες προσεγγίσεις θα αναλυθούν περαιτέρω στο τμήμα των μελετών μακροπρόθεσμων επιδράσεων.

Επίσης, χρειάζεται να διαφανεί και το ποσοστό των θανάτων που μετατοπίζονται. Για παράδειγμα, όπως αναφέρουν και οι Goggins et al., (2015) «σε μία μελέτη που αφορούσε στη Γαλλία εκτιμήθηκε ένα 8% μετατόπισης θνησιμότητας τριών εβδομάδων σε συνολικό θάνατο άνω των 3000 (Le Tertre et al., 2006)». Σε μελέτη των Baccini et al.

(2008) που περιελάμβανε 15 ευρωπαϊκές πόλεις εκτιμήθηκε η μετατόπιση της θνησιμότητας στο 70% των θανάτων. Οι μελέτες αυτές αφορούσαν σε επιδράσεις κυμάτων ζέστης και γενικότερα οι περισσότερες μελέτες αφορούν τέτοιες επιδράσεις, καθώς το κρύο χρειάζεται μεγαλύτερη χρονοϋστέρηση και μοντέλα «distributed lag» δεν μπορούν να ανιχνεύσουν καλά τέτοιες επιδράσεις (Rehill et al., 2015). Γενικά έχει φανεί ότι όσο πιο ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας εμφανίζονται σε μία χρονική περίοδο, τόσο πιο μεγάλο είναι και το φαινόμενο της μετατόπισης της θνησιμότητας (Saha et al., 2016).

Ωστόσο, το θέμα της «μετατόπισης της θνησιμότητας» (harvesting) δεν έχει πλήρως αποσαφηνιστεί, καθώς έχουν εντοπιστεί και ορισμένα αντιφατικά δεδομένα (Guo et al., 2012, Hajat et al., 2005). Για παράδειγμα, στη μελέτη των Kysely et al (2004) βρέθηκε μετατόπιση θνησιμότητας για ορισμένα όχι για όλα τα κύματα καύσωνα για την περίοδο των ετών 1982 - 2000 (Goggins et al., 2015). Παρόμοια ευρήματα υπάρχουν και από άλλες μελέτες.

Συμπερασματικά είναι ένα θέμα υπό διερεύνηση και ένας καλός τρόπος μεθοδολογικά για να διαφανεί η επίδραση των θερμοκρασιών και ο βαθμός στον οποίο πραγματοποιείται αυτή η μετατόπιση της θνησιμότητας είναι τα μοντέλα μακροπρόθεσμων επιδράσεων της θερμοκρασίας και της θνησιμότητας.

#### **4. Μελέτες μακροπρόθεσμων επιδράσεων της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα («long term effects of temperature on mortality») χρονικής σύγκρισης**

Στις μελέτες αυτές χρησιμοποιούνται δεδομένα συγκεντρωτικά για έτη, ώστε να διαφανούν οι μακροχρόνιες επιδράσεις της έκθεσης. Με τον όρο μακροχρόνιες θεωρείται ότι υπερβαίνουν το χρονικό διάστημα μελέτης, που ορίζουν συνήθως μελέτες βραχυπρόθεσμων επιδράσεων, όπως μερικές ημέρες ή εβδομάδες μετά την έκθεση, αλλά ορίζουν την έκθεση σε επίπεδο έτους (Antonella Zanobetti & O'Neill, 2018).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ορισμού της μακροπρόθεσμης επίδρασης της έκθεσης στη θερμοκρασία. Για παράδειγμα, στη μετα-ανάλυσή τους οι Yang et al (2018) ορίζουν ως μακροπρόθεσμη οποιαδήποτε μελέτη εκτείνεται πέρα από 3-4 εβδομάδες. Και άλλες μελέτες ορίζουν ως μακροπρόθεσμη έκθεση, την επίδραση που προκαλεί η έκθεση πέραν του εξαμήνου (Antonella Zanobetti et al., 2012). Όμως, οι Rehill et al (2015) αναφέρονται σε επιδράσεις που εκτείνονται πέρα του χρονικού ορίου αυτού, σε επίπεδο χρόνου. Κοινός τόπος όλων αυτών των μελετών είναι ότι αφορούν σε χρονική σύγκριση της θερμοκρασίας, δηλαδή δεδομένου ενός πληθυσμού σε ορισμένο γεωγραφικό σημείο αναφοράς γίνεται σύγκριση της επίδρασης της θερμοκρασίας στη θνησιμότητά του λαμβάνοντας δεδομένα ορισμένων ετών. Ωστόσο, αυτό που χαρακτηρίζει ως μακροπρόθεσμες τις επιδράσεις της θερμοκρασίας σε μελέτες όπως των Rehill, των Goggins κ.λπ. είναι ότι εξετάζεται η επίδραση της θερμοκρασίας πέραν του συνηθισμένου ορίου ορισμένων ημερών ή εβδομάδων, λαμβάνοντας υπόψιν το έτος ως μονάδα μέτρησης.

Πρόκειται για μία πιο πρόσφατη προσέγγιση, καθώς η έρευνα των προηγούμενων ετών έδινε περισσότερη έμφαση στις βραχυπρόθεσμες επίδρασεις κυμάτων καύσωνα ή ψύχους ή σε εποχικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, λαμβάνοντας υπόψιν πλήθος ετών. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια λόγω των αρνητικών επιπτώσεων στο κλίμα και κατά επέκταση στην υγεία, της κλιματικής αλλαγής έχει ενταθεί το ερευνητικό ενδιαφέρον προς αυτή την κατεύθυνση (Zabonetti et al., 2012). Όπως προαναφέρθηκε άλλωστε η κλιματική αλλαγή επηρεάζει όχι μόνο την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων αλλά και τη διάρκεια και τη συχνότητά τους, ενώ έχει αυξήσει και την εποχική διακύμανση των θερμοκρασιών με τα συνακόλουθα αρνητικά αποτελέσματα (Zabonetti et al., 2018).

Στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν εντοπιστεί διάφοροι τρόποι διερεύνησης των μακροπρόθεσμων επιδράσεων της θερμοκρασίας. Σε έρευνες που μελετούν την

μακροπρόθεσμη έκθεση στην θερμοκρασία, ο δείκτης θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται είναι είτε ένας συγκεκριμένος δείκτης για την ετήσια θερμοκρασία, όπως για παράδειγμα ο μέση τιμή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας ανά έτος (Metintas & Kurt, 2010) και αυτό για ένα διάστημα ετών ή η μεταβλητότητα της θερμοκρασίας ανά έτος (temperature variability), όπως η μελέτη των Zanobetti et al (2012) ή μία προσέγγιση που υιοθέτησαν μελέτες, όπως των Rehill et al. (2015), Goggins et al. (2015) και Armstrong et al (2017) (degree day approach), στην οποία δημιουργείται ένα άθροισμα «degree days» που αναφέρονται σε ετήσιο μέσο όρο ή άθροισμα ημερών που είχαν θερμοκρασία πάνω από ένα αριθμητικό όριο, πάνω από το οποίο ή κάτω από το οποίο αρχίζουν να παρατηρούνται αρνητικές επιδράσεις της θερμοκρασίας στην υγεία.

Το όριο αυτό σε κάποιες μελέτες είναι η θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται η ελάχιστη θνησιμότητα («Minimum Mortality Temperature»), ενώ σε άλλες το σημείο καμψής της θερμοκρασίας, δηλαδή η θερμοκρασία πέρα από την οποία αρχίζουν να εμφανίζονται επιπτώσεις στη θνησιμότητα (Antonella Zanobetti & O'Neill, 2018). Ακόμη, υπάρχουν μελέτες που χρησιμοποιούν σύνθετους δείκτες αθροιστικούς για ορισμένη χρονική περίοδο, οι οποίοι δημιουργούνται με μαθηματικούς τύπους, ώστε να συγκρίνουν με αντίστοιχη περίοδο, όπως στην περίπτωση της παραπάνω χειμερινής θνησιμότητας «Excess Winter Mortality» (EWM) την οποία χρησιμοποιούν σε μελέτες όπως της Healy (2003) ή Blagojevic (2012).

Οι μελέτες μακροπρόθεσμων επιδράσεων της θερμοκρασίας είναι ένας τρόπος να αποσαφηνιστεί εάν η μετατόπιση της θνησιμότητας αφορά μόνο άτομα που θα πέθαιναν ούτως ή άλλως στους επόμενους μήνες ή μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού που δεν θα πέθαινε τουλάχιστον για ένα έτος. Άλλωστε έχει φανεί ότι χρόνια με θερμά καλοκαίρια και κρύους χειμώνες έχουν εμφανίσει υψηλότερη θνησιμότητα από άλλα έτη, επομένως πεθαίνει ένα μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού (Armstrong et al., 2017).

**Μακροπρόθεσμες επιδράσεις της ζέστης.** Έχει τεκμηριωθεί ότι η μακροπρόθεσμη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες επιδρά αρνητικά στην ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα, σε μελέτη που περιελάμβανε 12 χώρες, φάνηκε ότι κατά μέσο όρο για κάθε μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας η θνησιμότητα αυξάνεται κατά 1,7% (95% Δ.Ε: 0,3% - 3,1%). Σε μελέτη στην Κίνα φάνηκε ότι για κάθε 10 βαθμοημέρες ζέστης θπήρχε αύξηση της θνησιμότητας κατά 1,9% (95% Δ.Ε: 0,5%, 3,4%). Ακόμη, σε μελέτη στη Σουηδία για



τις διαχρονικές επιδράσεις της θερμοκρασίας φάνηκε ότι η υψηλότερη θερμοκρασία το καλοκαίρι συσχετίστηκε σε επίπεδο χρόνου με 4,8% (95% Δ.Ε: -0,1%, 10%) υψηλότερο κίνδυνο θνησιμότητας (Schumann et al., 2013).

**Μακροπρόθεσμες επιδράσεις του κρύου.** Σε μελέτη που έγινε στο Λονδίνο, φάνηκε ότι για κάθε μία μονάδα κάτω από τους 18° C, η θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες αυξανόταν κατά 2,3% (95% Δ.Ε: 0,7% - 3,8%), έχοντας ελέγξει για μακροχρόνιες τάσεις και γρίπη (Rehill et al., 2015). Σε μελέτη για τις επιδράσεις του κρύου σε 12 χώρες φάνηκε ότι για κάθε μία μονάδα μείωσης της θερμοκρασίας η θνησιμότητα αυξάνεται κατά 1,1% (95% Δ.Ε: 0,6% - 1,6%) (Armstrong et al., 2017). Σε άλλη μελέτη στην Κίνα φάνηκε ότι για κάθε 200 βαθμοήμερες κρύου, υπήρχε αύξηση 3,1% (95% Δ.Ε: 1,3% - 5%) (Goggins et al., 2015).

Ακόμη, όπως προαναφέρθηκε έχουν υπάρξει και μελέτες που έχουν ερευνήσει διαχρονικά την μακροπρόθεσμη έκθεση στο κρύο με δείκτες όπως την επιπλέον θνησιμότητα κατά το χειμώνα «Excess Winter Mortality - EWM». Σύμφωνα με την Healy (2003), η «EWM» είναι το πλεόνασμα θανάτων που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της χειμερινής σεζόν (οριζόμενης από Δεκέμβριο έως Μάρτιο) συγκρινόμενο με τον μέσο θάνατων των μη – χειμερινών μηνών. Αυτό μας δίνει μία εικόνα για το μέγεθος των θανάτων που υπάρχουν επιπλέον λόγω της περιβαλλοντικής συνθήκης του κρύου. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα οι θάνατοι για την περίοδο μελέτης (1988 – 1997) εμφανίζουν έντονη εποχική διακύμανση, με αύξηση των θανάτων κατά τη χειμερινή περίοδο κατά 18% (95% Δ.Ε: 15% - 21%) , δηλαδή 5.700 πρώιμους θανάτους (Healy, 2003). Πρόκειται για ένα καλά μελετημένο φαινόμενο, το οποίο έχει παρατηρηθεί παγκοσμίως και αποτυπώνει αυξημένη θνησιμότητα διεθνώς από 5% έως 30% κατά τους χειμερινούς μήνες. Ωστόσο, όπως επισημαίνεται, υπάρχει μεγάλη απόκλιση στις χώρες, λόγω διαφόρων παραγόντων, μεταξύ των οποίων κυριότερος είναι το κλίμα.

- **Συγχυτικοί παράγοντες σε μοντέλα μακροπρόθεσμων επιδράσεων**

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες οι οποίοι θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη σχέση της θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα σε μακροπρόθεσμη κλίμακα. Για παράδειγμα, η δημογραφική δομή μίας περιοχής, το συνολικό κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο (και κατά επέκταση το κατά κεφαλήν εισόδημα – ως τρόπο αντιπροσώπευσής του) (Yang et al., 2018), οι αλλαγές στο σύστημα δημόσιας υγείας επηρεάζουν το πόσοι θάνατοι θα παρατηρηθούν (Rehill et al., 2015).

**Γεωγραφικό πλάτος.** Έχει φανεί ότι το γεωγραφικό πλάτος και στις μακροπρόθεσμες επιδράσεις της θερμοκρασίας παίζει σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα, σε μελέτη 12 κρατών, φάνηκε ότι για κάθε 1° C αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από το όριο ελάχιστης θνησιμότητας (Minimum Mortality Temperature – MMT) ο κίνδυνος θνησιμότητας αυξάνεται κατά 1,7% (95% Δ.Ε: 0,3% - 3,1%) (Armstrong et al., 2017) σαν γενικός μέρος όρος. Ωστόσο, αυτό το ποσοστό κινδύνου διαφοροποιούταν ανάλογα με την χώρα. Για παράδειγμα, στην Ιταλία ο κίνδυνος για κάθε 1° C πάνω από το αντίστοιχο της Ιταλίας όριο ήταν 8,3% (95% Δ.Ε: 2,5% - 14,4%). Ωστόσο, στην Ιαπωνία το ποσοστό αύξησης του κινδύνου θνησιμότητας ήταν 2,1% (95% Δ.Ε: -4,8%, 9,5%).

**Ηλικία.** Όπως και στις βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της θερμοκρασίας, έτσι και στις μακροπρόθεσμες η σύνθεση του πληθυσμού κατά ηλικία αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τη σχέση θερμοκρασίας και θνησιμότητας. Σύμφωνα με μελέτη που διεξήχθη στις Η.Π.Α. φάνηκε ότι οι νέοι 18 έως 45 ετών είχαν 55% (95% Δ.Ε: 53%, 58%) μικρότερη πιθανότητα θανάτου από θερμοπληξία σε σύγκριση με τους ηλικιωμένους. Αντίστοιχα οι ενήλικες από 46 – 65 έτη είχαν 31% (95% Δ.Ε: 28%, 34%) θανάτου από θερμοπληξία σε σύγκριση με τους ηλικιωμένους άνω των 65 ετών (Hess et al., 2014). Αντίστοιχα σε μελέτη στην Αυστραλία φάνηκε ότι οι ηλικιωμένοι άνω των 75 ετών είχαν πολύ μεγαλύτερο κίνδυνο καρδιαγγειακής θνησιμότητας λόγω έκθεσης σε υψηλή θερμοκρασία σε σύγκριση με ενήλικους κάτω των 75 ετών (Zanobetti et al., 2012). Σε μελέτη στην Κίνα φάνηκε ότι ενώ ο κίνδυνος αύξησης της θνησιμότητας από την υψηλή θερμοκρασία ήταν 2,2% (95% Δ.Ε: 1% - 3,3%), για τους ηλικιωμένους άνω των 75 ετών ήταν 2,8% (95% Δ.Ε: 1,4% - 4,2%) (Goggins et al., 2015).

**Ατμοσφαιρικοί ρύποι.** Υπάρχουν λίγες μελέτες που αξιολογούν την μακροπρόθεσμη επίδραση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Σε μελέτη στην Αυστραλία φάνηκε ότι το όζον επηρέαζε τον δείκτη επίδρασης της υψηλής θερμοκρασίας στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα κατά 10% περίπου (Zanobetti et al., 2012). Σε μελέτη στην Κίνα φάνηκε ότι το PM<sub>10</sub> και το NO<sub>2</sub> δεν επηρέαζαν στατιστικώς σημαντικά τη σχέση θερμοκρασίας και θνησιμότητας (Goggins et al., 2015). Η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη θνησιμότητα συνδυαστικά με την επίδραση της θερμοκρασίας είναι ένας τομέας προς περαιτέρω μελέτη.

**Κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο.** Σύμφωνα με μελέτη που διενεργήθηκε σε 12 ευρωπαϊκά κράτη, ένας παράγοντας που επίσης παίζει ρόλο στη σχέση μεταξύ κρύου και θνησιμότητας είναι το κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο των κρατών. Συγκεκριμένα φάνηκε ότι χώρες της βόρειας Ευρώπης με καλύτερους κοινωνικούς δείκτες, όπως το ΑΕΠ, εμφάνιζαν χαμηλότερη εποχική διακύμανση της θνησιμότητας, δηλαδή λιγότερο έντονη θνησιμότητα κατά τη χειμερινή περίοδο, σε σύγκριση με χώρες με χαμηλό ΑΕΠ, όπως την Ελλάδα, οι οποίες εμφάνισαν μεγαλύτερη εποχική διακύμανση της θνησιμότητας και αυξημένο ποσοστό θανάτων κατά του χειμερινούς μήνες (Healy, 2003). Επίσης, στην ίδια μελέτη ο κοινωνικο-οικονομικός παράγοντας φάνηκε ισχυρή ένδειξη για τις επιδράσεις του κρύου στη θνησιμότητα και στο επίπεδο των πολιτών, καθώς το εισόδημα, η ποιότητα στέγασης και άλλες μεταβλητές φάνηκαν σημαντικοί παράγοντες συσχέτισης με την EWM (Healy, 2003).

**Αναπνευστικές Λοιμώξεις.** Τέλος, ένα παράγοντας, ο οποίος ενδεχομένως επηρεάζει τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και θνησιμότητας, αλλά ο οποίος ίσως να βρίσκεται και στο αιτιολογικό μονοπάτι τους (Rehill et al., 2015) είναι η γρίπη (influenza). Σε μελέτη των Armstrong et al (2017) φάνηκε ότι η γρίπη άλλαζε την επίδραση του κρύου στη θνησιμότητα από το 13% (95% Δ.Ε: -13%, 38%) στο 8% (95% Δ.Ε: -29%, 46%) (Armstrong et al., 2017). Σε άλλη μελέτη δεν φαινόταν ωστόσο να παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς αποτελούταν από μικρό αριθμό περιπτώσεων και δεν άλλαξε σημαντικά τον δείκτη επίδρασης της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα (Blagojević et al., 2012). Πρόκειται για κάτι που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

**Λοιποί παράγοντες.** Τέλος, μεταβλητές όπως αλλαγές στο σύστημα υγείας, ατομικές συνήθειες όπως κάπνισμα, αλκοόλ και άλλοι παράγοντες εκτιμάται συχνά ότι «διορθώνονται» ήδη μέσα από τον μεθοδολογικό σχεδιασμό των οικολογικών μελετών (ecological temporal studies) αλλά και από την γραμμή τάσης των δεδομένων, η οποία «διορθώνει» για την διαχρονική τάση των δεδομένων που οφείλεται στους διάφορους παράγοντες που εμφανίζουν αυξητική ή μειωτική τάση στο μοντέλο παλινδρόμησης (Armstrong et al., 2017; Goggins et al., 2015; Rehill et al., 2015).

Ακόμη, σε μελέτη στη Σερβία στην οποία έγινε σύγκριση της θνησιμότητας τον χειμώνα του πληθυσμού των Ρομά και των Σέρβων φάνηκε ότι η εθνικότητα παίζει στατιστικά σημαντικό ρόλο στις επιδράσεις της θερμοκρασίας στη αναπνευστική θνησιμότητα, καθώς οι Ρομά είχαν μεγαλύτερα ποσοστά αναπνευστικών θανάτων από ό,τι ο σερβικός πληθυσμός (Blagojević et al., 2012). Το παραπάνω ανιχνεύθηκε μόνο για αναπνευστική θνησιμότητα και όχι για ολική και καρδιαγγειακή. Ωστόσο, χρήζει περαιτέρω μελέτης ως εύρημα.

## 5. Πιθανοί βιολογικοί μηχανισμοί επίδρασης της θερμοκρασίας

Οι ζωντανοί οργανισμοί διαθέτουν μία έμφυτη ικανότητα, η οποία ονομάζεται ομοιόσταση και αυτή αφορά στην προσπάθεια διατήρησης των συνθηκών της εσωτερικής τους κατάστασης σε σταθερότητα, ώστε να μπορούν να λειτουργούν ομαλά τα συστήματα και οι λειτουργίες τους. Το εξωτερικό περιβάλλον όμως επιδρά καταλυτικά και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανθρώπινη ομοιόσταση. Για παράδειγμα, σε συνθήκες ζέστης, ο υποθάλαμος δίνει εντολή στους ιδρωτοποιούς αδένες να παράγουν ιδρώτα, ώστε μέσω της εξάτμισής του από το δέρμα, να χαμηλώσει η θερμοκρασία του σώματος. Αντίστοιχα σε συνθήκες κρύου ο οργανισμός αντιδρά με ταχεία σύσπαση των μυών, ώστε να παράγει θερμότητα και να αυξήσει τη θερμοκρασία του.

Σε αυτή τη σχέση σταθερότητας εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος του ανθρώπου η θερμοκρασία μπορεί να λειτουργήσει καταλυτικά. Ακραία περιβαλλοντικά φαινόμενα, όπως καύσωνας ή ψύχος ή και θερμοκρασίες υψηλές ή χαμηλές αλλά παρατεταμένα και ασυνήθιστα για μία περιοχή, δύνανται να έχουν αρκετές αρνητικές επιπτώσεις, οι οποίες έχουν τεκμηριωθεί από πλήθος μελετών (Goggins et al., 2015). Ακόμη, η μεγάλη διακύμανση της θερμοκρασίας, η οποία δεν επιτρέπει στον οργανισμό να συνηθίσει σε συγκεκριμένη θερμοκρασία στο περιβάλλον του, για παράδειγμα, η όλο και πιο συχνή λόγω της κλιματικής αλλαγής εμφάνιση υψηλών θερμοκρασιών σε τυπικά κρύες περιόδους του έτους, οδηγεί σε αρνητικές εκβάσεις υγείας (Antonella Zanobetti et al., 2012).

Η θερμοκρασία έχει συνδεθεί τόσο με τον δείκτη της γενικής θνησιμότητας όσο και με υποκατηγορίες του ανά αιτία, όπως τον δείκτη καρδιαγγειακής θνησιμότητας ή αναπνευστικής θνησιμότητας. Σύμφωνα με μελέτη των Wallwork et al (2017) η ετήσια μέση θερμοκρασία σχετίζεται με υψηλότερο κίνδυνο αύξησης της γλυκόζης του αίματος. Επίσης, φάνηκε ότι άνδρες που ζούσαν σε γειτονίες με υψηλές θερμοκρασίες και υψηλούς δείκτες PM<sub>2.5</sub> εμφάνιζαν σε μεγαλύτερο βαθμό μεταβολικά σύνδρομα. Ακόμη σε μελέτη στην Ιαπωνία φάνηκε ότι η θερμοκρασία επηρέαζε στατιστικώς σημαντικά την επιβίωση νεφροπαθών ασθενών υπό διάλυση. Ακόμη σύμφωνα με τους Analitis et al (2008) το κρύο επιδρά στο καρδιαγγειακό σύστημα μέσω μεταβολικών και αγγειακών οδών, αναφέροντας χαρακτηριστικά τις μελέτες των Keatinge et al. Συγκεκριμένα στη μελέτη του 1984 των ιδίων, φάνηκε ότι σε συνθήκες κρύου αυξήθηκε η συγκέντρωση χοληστερόλης στο αίμα,

οι συγκεντρώσεις αιμοπεταλίων, ερυθρών αιμοσφαιρίων και ιξώδους, με αποτέλεσμα την αυξημένη πιθανότητα για την εμφάνιση στεφανιαίας και εγκεφαλικής θρόμβωσης, μέσω της συνακόλουθης αύξησης της πίεσης. Φυσικά, μπορούν να παρατηρηθούν όχι μόνο καρδιαγγειακές αλλά και φλεγμονώδεις αντιδράσεις μέσω της έκθεσης σε ακραίες θερμοκρασίες (Zabonetti et al., 2018). Αντίστοιχα «σύμφωνα με τους Keatinge et al. (1986) η ζέστη προκαλεί αύξηση του καρδιακού ρυθμού, διευκολύνει τη θρόμβωση μέσω της πήξης του αίματος, μειώνει την αιμάτωση του εγκεφάλου και προκαλεί μειωμένη αγγειοσυσταλτική απόκριση» (Gasparrini et al., 2015).

Οι Hess et al (2014) αναφέρουν ότι ένα επίσης ευρέως γνωστό πρόβλημα που προκαλεί η ακραία ζέστη συγκεκριμένα είναι η θερμοπληξία «heat stroke» (Knochel & Reed, 1994). Σύμφωνα με τους Yan et al. (2006) είναι μία περίπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει υπερθερμία, δηλαδή αδυναμία του οργανισμού να μειώσει την θερμοκρασία του σώματος, αφυδάτωση και κυτταροτοξικότητα, γενικευμένη φλεγμονή με αποτέλεσμα να δυσλειτουργούν πολλαπλά όργανα. Ακόμη, αναφέρεται από τους συγγραφείς ότι μέσω του κυκλοφορικού σοκ και συνδυαστικά μέσω της ιντερλευκίνης 6 η οποία προκαλεί οξειδωτική βλάβη στον εγκεφαλικό ιστό, προκαλείται εγκεφαλική ισχαιμία, δηλαδή εγκεφαλικό λόγω της θερμότητας. Πρόκειται για ένα σύνδρομο το οποίο αναλόγως της διάρκειας της έκθεσης και του βαθμού της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει θανατηφόρο.

Οι ακραίες καιρικές συνθήκες επηρεάζουν ιδιαίτερος αρνητικά τις ειδικές ομάδες του πληθυσμού, όπως νοσούντες από χρόνια αναπνευστική νόσο (chronic lung disease) ανθρώπους με καρδιαγγειακούς παράγοντες κινδύνου, οι οποίοι σε συνθήκες ζέστης μπορούν να αντιμετωπίσουν πρόβλημα λόγω της αφυδάτωσης και των συνεπειών της συνακόλουθης ηλεκτρολυτικής αστάθειας (Josseran et al., 2009). Επιπλέον, σε συνθήκες ψύχους είναι πολύ πιο ευαίσθητοι στις γενικότερες επιπτώσεις του, δηλαδή «στην πρόκληση βρογχοσύσπασης και μείωσης της άμυνας των βλεννογόνων και άλλων συστημάτων με αποτέλεσμα την αυξημένη ευαλωτότητα σε αναπνευστικές λοιμώξεις (Eccles, 2002) και τοπικές φλεγμονές (Keatinge et al., 1986).» Όπως συνεχίζουν οι Gasparrini et al. (2015) τα παραπάνω μπορούν να επιμείνουν για αρκετό χρονικό διάστημα πέραν των λίγων ημερών και μάλιστα με γραμμική σχέση με αποτέλεσμα μεγάλος μέρος των παραπάνω να προκαλείται σε μετρίως χαμηλές θερμοκρασίες.

Σύμφωνα με τους Havenith et al. (2005) όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή ενεργοποιείται η ομοιόσταση του οργανισμού με στόχο να μειώσει την αυξανόμενη θερμοκρασία του σώματος μέσα από τη διαστολή των αγγείων και τον ιδρώτα, ο οποίος μεταφέρει με το αίμα τη ζέστη στο δέρμα για να εξατμιστεί. Αυτή η διαδικασία μπορεί να καταπονεί το καρδιαγγειακό σύστημα ακόμη και όταν η θερμοκρασία επιστρέψει στο φυσιολογικό (Havenith, 2005). Επομένως, ειδικά στα κύματα καύσωνα και τις ημέρες όπου η θερμοκρασία αυξάνεται για παρατεταμένο χρονικό διάστημα οι επιδράσεις είναι ακόμη ισχυρότερες στο καρδιαγγειακό σύστημα (Li et al., 2016). Μάλιστα, για την ειδική κατηγορία των ηλικιωμένων φαίνεται ότι σε αυτούς η επίδραση της ζέστης στο καρδιαγγειακό είναι μεγαλύτερη, διότι έχουν χαμηλότερη ικανότητα ομοιοστατικής ρύθμισης της θερμοκρασίας (Bouchama & Knochel, 2002).

Ακόμη, το κρύο μπορεί να συμβάλλει στην εμφάνιση διαφόρων προβλημάτων υγείας, αναλόγως με το πότε εξετάζονται οι επιπτώσεις, κατόπιν της έκθεσης. Η υποθερμία είναι άμεσο αποτέλεσμα της έκθεσης σε κρύο. Τα καρδιαγγειακά συμπτώματα εμφανίζονται 2 – 7 μέρες μετά από την έκθεση σε κρύο, τα ισχαιμικά επεισόδια, 7 – 10 μέρες μετά και οι αναπνευστικές λοιμώξεις 10 – 21 μέρες μετά την έκθεση (Laaidi et al., 2013).

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας μέσω του ιδρώτα είναι μία διαδικασία η οποία φθίνει με την ηλικία. Στις υψηλές θερμοκρασίες οι ηλικιωμένοι δυνητικά χάνουν αρκετά σωματικά υγρά και αφυδατώνονται, το οποίο επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στο καρδιαγγειακό σύστημα (Moghadamnia et al., 2017).

## Σχεδιασμός έρευνας και αντίστοιχες μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης

### Οικολογική μελέτη χρονικής σύγκρισης

Οι οικολογικές μελέτες γενικά θεωρούνται λιγότερο καλές αλλά ειδικά στον τομέα της περιβαλλοντικής επιδημιολογίας έχουν σημαντική εφαρμογή λόγω του οικολογικού (πληθυσμιακού) χαρακτήρα ορισμένων περιβαλλοντικών εκθέσεων. Η περιβαλλοντική επιδημιολογία εντάσσεται στον τομέα της επιδημιολογίας, δηλαδή της επιστημονικής έρευνας των διαφορών ασθενειών και των παραγόντων που συμβάλλουν στην εμφάνισή τους (Talbot & Craun, 1995). Κυριολεκτικά σημαίνει μελέτη («λόγος») «επί του δήμου», δηλαδή πάνω στους ανθρώπους. Ο τομέας της περιβαλλοντικής επιδημιολογίας, εξειδικεύει τους υπό μελέτη παράγοντες, οι οποίοι επιφέρουν εκβάσεις υγείας στους ανθρώπους, σε περιβαλλοντικούς, δηλαδή σε χημικούς, φυσικούς και μη λοιμώδεις βιολογικούς παράγοντες εκτός του ανθρωπίνου σώματος (Talbot & Craun, 1995).

Οι οικολογικές μελέτες αφορούν στη μελέτη των επιδράσεων διαφόρων παραγόντων σε επίπεδο πληθυσμού και όχι σε άτομα. Πρόκειται για μελέτες παρατήρησης, που χρησιμοποιούν συγκεντρωτικά δεδομένα («aggregated data») που αφορούν σε πληθυσμό και όχι παράγοντες κάθε ατόμου ξεχωριστά. Στις μελέτες αυτές γίνονται συγκρίσεις είτε μεταξύ πληθυσμών τοπικά προσδιορισμένων είτε μεταξύ του ίδιου πληθυσμού σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Έτσι, για τη σύγκριση και η ομαδοποίηση αντίστοιχα γίνεται με κριτήριο είτε γεωγραφικό (π.χ. δύο πόλεις μεταξύ τους) είτε χρονικό (π.χ. σύγκριση επιπέδων με βάση τη μέρα, το μήνα ή το έτος). Στις χρονικές μελέτες συγκεκριμένα, στις οποίες εντάσσεται και η παρούσα εργασία μελετάται η διαφοροποίηση της επίδρασης ενός παράγοντα στην διάρκεια του χρόνου. Εν προκειμένω πρόκειται για την θερμοκρασία και πως αυτή επηρεάζει τη θνησιμότητα σε επίπεδο όχι βραχυπρόθεσμο αλλά μακροπρόθεσμο, σε επίπεδο δηλαδή έτους.

Τα θετικά στοιχεία αυτού του σχεδιασμού (οικολογικές μελέτες) είναι ότι αξιοποιεί συχνά ήδη διαθέσιμα δεδομένα (π.χ. νοσοκομειακά, μετεωρολογικά κ.λπ.) και είναι συχνά πιο οικονομικά συμφέρουσες και εύκολες στην εφαρμογή έρευνες (Talbot & Craun, 1995). Επίσης, γενικότερα οι μελέτες περιβαλλοντικής επιδημιολογίας προσφέρουν τη δυνατότητα για αναγνώριση πολλών παραγόντων κινδύνου ή προστατευτικών παραγόντων πολύ νωρίς σε σχέση με άλλες μεθόδους περιβαλλοντικής επιδημιολογίας



(Talbot & Craun, 1995). Παραδείγμα ερευνών των οποίων αποδείχθηκε πολύ σημαντική η συνεισφορά της περιβαλλοντικής επιδημιολογίας είναι η σχέση μεταξύ υπερϊώδους ακτινοβολίας και καρκίνου του δέρματος, η μελέτη της Χολέρας στο Λονδίνο, η σύνδεση μεταξύ της μεσογειακής δίαιτας και της προστατευτικής λειτουργίας της έναντι της νόσου Alzheimer's (Talbot & Craun, 1995). Συνεπώς, οι οικολογικές μελέτες ενδείκνυνται για να ελεγχθούν με ταχύτητα και αποτελεσματικότητα υποθέσεις σχετικά με παράγοντες που επηρεάζουν εκβάσεις υγείας.

Ωστόσο, όπως όλοι οι ερευνητικοί σχεδιασμοί, έτσι και οι οικολογικές μελέτες συνδέονται και με ορισμένα μειονεκτήματα. Ένα από τα σημαντικότερα είναι το λεγόμενο οικολογικό σφάλμα («ecological bias»), δηλαδή ζητήματα τα οποία σχετίζονται με μεταβλητές σύγχυσης («confounding»). Υπάρχουν διάφορες μεταβλητές οι οποίες μπορεί να έχουν σχέση και με την έκθεση και με την έκβαση και για αυτό οι οικολογικές μελέτες χρειάζεται να τις περιλαμβάνουν στα μοντέλα διερεύνησης των σχέσεων αυτών (Thomas, 2009). Επίσης, υπάρχει και το ζήτημα με το σφάλμα μέτρησης στα οικολογικά δεδομένα, καθώς συχνά υπάρχει κάποιος «θόρυβος», δηλαδή ελαφρά απόκλιση της πραγματικής από την παρατηρούμενη μέτρηση. Όπως και το προηγούμενο έτσι και αυτό έχει τρόπο αντιμετώπισης, ο οποίος είναι να δίνεται έμφαση στην επακριβής καταγραφή της έκθεσης (Thomas, 2009).

### **Στατιστικά Μοντέλα και Στατιστική Εκτίμηση**

Στην διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ διαφόρων μεταβλητών, δηλαδή εννοιών οι οποίες μεταβάλλονται, χρησιμεύει πολύ η Στατιστική. Είναι μία επιστημονική μέθοδος, βάσει της οποίας επιλέγοντας την κατάλληλη ερευνητική μεθοδολογία αναλόγως του είδους των μεταβλητών (κατηγορικές ή αριθμητικές), (εξαρτημένες ή ανεξάρτητες) και ερευνούμε τη σχέση τους καταλήγοντας σε όσο το δυνατόν εγκυρότερα αποτελέσματα.

Στην προσπάθεια ανάλυσης αυτών των σχέσεων δημιουργούμε στατιστικά μοντέλα τα οποία περιγράφουν την σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών και των εξαρτημένων μεταβλητών  $Y$ . Δηλαδή στην ιατρική επιστήμη συγκεκριμένα τη σχέση μεταξύ της έκθεσης σε έναν παράγοντα και της έκβασης υγείας που αυτός προκαλεί. Στόχος είναι να επιλεγούν οι μεταβλητές οι οποίες ερμηνεύουν τον παράγοντα με τον πιο

απλό και αποτελεσματικό τρόπο, με εύκολη ερμηνεία. Χρειάζεται να ελέγχει το τυχαίο σφάλμα, ενσωματώνοντάς το στο μοντέλο και παράλληλα μεθοδολογικά να αποφεύγονται πάσης φύσεως συστηματικά σφάλματα.

Έτσι δημιουργούνται μοντέλα παλινδρόμησης, τα οποία δίνουν την σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών και της εξαρτημένης μεταβλητής.

### **Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα**

Τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα («Generalized Linear Models – GLM») αποτελούν μία γενίκευση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης η οποία επιτρέπει η κατανομή του σφάλματος να είναι διαφορετική της κανονικής και συγκεκριμένα να ανήκει στην Εκθετική Οικογένεια των κατανομών (Nelder & Baker, 1972). Τέτοιες κατανομές είναι η κανονική, η Poisson, η εκθετική, η Γάμμα, η γεωμετρική, Bernoulli κ.λπ.

Η σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης εκφράζεται μέσα από τον γραμμικό συνδυασμό των μεταβλητών με συνάρτηση σύνδεσης («link function»):

$$g(\mu_i) = \eta_i = x_i^T \beta$$

όπου  $\eta_i$ , ο γραμμικός συνδυασμός των  $\beta$  και  $x_i$ .

Επίσης υπάρχει και συνάρτηση διασποράς, της μορφής:

$$\text{Var}(Y_i) = \phi V(\mu)$$

όπου η σταθερά  $\phi$  ορίζεται ως η παράμετρος της διασποράς («dispersion parameter»).

Έτσι, στα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα υπάρχουν τρία συστατικά στοιχεία: Ο τυχαίος παράγοντας («random component»), ο συστηματικός παράγοντας («systematic component») και η συνάρτηση σύνδεσης («link function») (McCullagh & Nelder, 1989). Ο τυχαίος παράγοντας αφορά στις εκτιμώμενες παραμέτρους  $\theta$  από τα δεδομένα, ο συστηματικός παράγοντας αφορά στις μετρήσεις και συγκεκριμένα στους συντελεστές παλινδρόμησης και τον συνδυασμό των μεταβλητών:  $\eta = \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij}$  και τέλος η συνάρτηση σύνδεσης που αναφέρθηκε και παραπάνω.

## Κατανομή Poisson

Ο αριθμός των θανάτων, ως μεταβλητή ακολουθεί τη θεωρητική κατανομή Poisson, η οποία έλαβε το όνομά της από τον Γάλλο μαθηματικό Simeon Denis Poisson (1781 – 1840). Πρόκειται για μία διακριτή συνάρτηση κατανομής και εκφράζει την πιθανότητα να συμβούν σε συγκεκριμένο χρόνο ένας αριθμός γεγονότων με έναν ρυθμό «λ» (McCullagh & Nelder, 1989). Ονομάζεται και κατανομή για σπάνια γεγονότα, διότι η πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι πολύ μικρή (McCullagh & Nelder, 1989). Επίσης, η Poisson ανήκει στην εκθετική οικογένεια κατανομών, μαζί με άλλες κατανομές, όπως την κανονική και τη διωνυμική κατανομή, διότι μπορεί να γραφεί με την εξής μορφή:

$$f(y; \theta) = \exp[a(y)b(\theta) + c(\theta) + d(y)]$$

Το  $b(\theta)$  είναι η φυσική παράμετρος η οποία στην Poisson είναι ο  $\log(\theta)$ , το  $c$  είναι το  $-\theta$  και το  $d$  ισούται με  $-\log y!$ .

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για μία διακριτή μεταβλητή  $Y$  είναι:

$$f(y, \theta) = \frac{\theta^y e^{-\theta}}{y!}$$

Με το  $y$  να λαμβάνει θετικές ακέραιες τιμές και το οποίο μπορεί να γραφεί ως:

$$f(y, \theta) = \exp(y \log \theta - \theta - \log y!)$$

Το οποίο είναι η κανονική μορφή της («canonical form»), καθώς  $a(y) = y$ , ενώ η φυσική παράμετρος («natural parameter») είναι το  $\log(\theta)$ , δηλαδή  $Q_i = \log(\theta_i)$ .

Ο ρυθμός επέλευσης των γεγονότων σύμφωνα με τη κατανομή Poisson εκφράζεται με την παράμετρο «λ» που αποτελεί τη μέση τιμή του αριθμού εμφανίσεων του υπό μελέτη γεγονότος, οι οποίες εμφανίσεις είναι ανεξάρτητες της τελευταίας χρονικής στιγμής κατά την οποία εμφανίστηκε το γεγονός (McCullagh & Nelder, 1989). Ο ρυθμός  $\lambda$  θεωρείται ότι είναι σταθερός στη διάρκεια του χρόνου. Έτσι, η πιθανότητα εμφάνισης ενός συγκεκριμένου πλήθους εμφάνισης του γεγονότος αποδίδεται από τη σχέση:

$$f(k; \lambda) = p_{\lambda}(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$$

(McCullagh & Nelder, 1989)

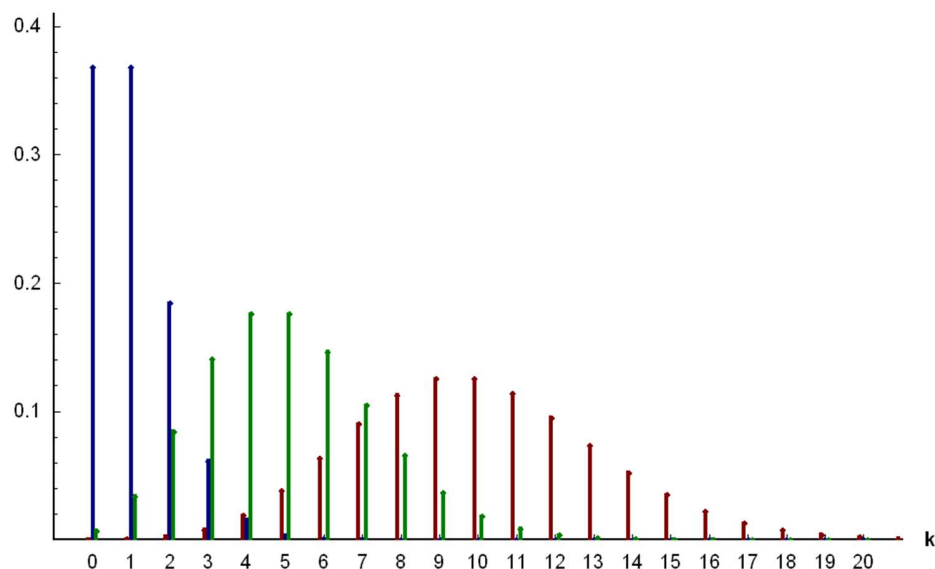
Στην παραπάνω εξίσωση το  $e$  αντιπροσωπεύει τον αριθμό Euler = 2,71828... και  $k$  το υπό διερεύνηση πλήθος εμφάνισης και  $\lambda$  η μέση τιμή εμφάνισης (McCullagh & Nelder, 1989).

Όσον αφορά στα στοιχεία που εκφράζουν την κατανομή ισχύει ότι:

$$E[\mu] = \lambda$$

$$\text{Var}[\mu] = \lambda$$

Δηλαδή η μέση τιμή και η διακύμανση εκφράζονται από την παράμετρο  $\lambda$ , η οποία είναι πάντα θετικός ακέραιος πραγματικός αριθμός. Παρακάτω αποδίδεται η σχηματική απεικόνιση της κατανομής.



Εικόνα 1.1. Με μπλε είναι η θεωρητική κατανομή Poisson για  $\lambda = 1$ , με πράσινο χρώμα η κατανομή για  $\lambda = 5$  και με κόκκινο χρώμα η κανονική κατανομή με  $\lambda = 10$  (Πηγή: McCullagh & Nelder, 1989)

Η θεωρητική κατανομή Poisson προέρχεται από την διωνυμική κατανομή κατά Bernoulli και περιγράφει τη συχνότητα εμφάνισης γεγονότων εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος. Προσεγγίζεται από την Bernoulli θεωρητική κατανομή, όταν η αρχική πιθανότητα επιτυχίας μέσω της διωνυμικής προσέγγισης είναι μικρή, δηλαδή όσο το «p» τείνει στο 0 και όσο το «n» πλήθος αυξάνεται. Ωστόσο, το  $\lambda = n \times p$  παραμένει σταθερό στο χρόνο. Η παραπάνω προσέγγιση ονομάζεται και ως «νόμος των σπάνιων γεγονότων», καθώς ένα από τα n μεμονωμένα γεγονότα της δοκιμής Bernoulli συμβαίνει σπάνια (McCullagh & Nelder, 1989).

### **Υπερδιασπορά («Overdispersion»)**

Σύμφωνα με τις υποθέσεις της θεωρητικής κατανομής Poisson, η αναμενόμενη τιμή του μέσου της κατανομής Poisson ισούται με τη τιμή της διασποράς. Ωστόσο, συχνά η παραγόμενη από τα δεδομένα διασπορά είναι μεγαλύτερη από αυτή που προβλέπεται από την τιμή του μέσου. Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει υπερδιασπορά. Η υπερδιασπορά ελέγχεται για το αν υπάρχει σε μία παλινδρόμηση Poisson με την διαίρεση του κριτηρίου  $\chi^2$  ή της απόκλισης («deviance») με τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας του μοντέλου παλινδρόμησης. Εάν η τιμή που είναι το αποτέλεσμα του παραπάνω πηλίκου είναι άνω του 1, τότε υπάρχει υπερδιασπορά στα δεδομένα.

### **Παλινδρόμηση Poisson**

Έστω, τυχαία γεγονότα τα οποία συμβαίνουν ανεξάρτητα στον χρόνο  $t_i$  με ρυθμούς  $\lambda_i$ . Η τυχαία μεταβλητή  $Y_i$  είναι ο αριθμός αυτών των γεγονότων για την περίοδο  $t_i$  και ακολουθεί την κατανομή Poisson με μέσο  $\mu_i = \lambda_i \times t_i$  (McCullagh & Nelder, 1989).

Σύμφωνα με τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα η αναμενόμενη τιμή της μεταβλητής έκβασης  $Y$  ή μία συνάρτηση αυτής της τιμής, σχετίζεται με τον γραμμικό συνδυασμό των ανεξάρτητων μεταβλητών με τη μορφή:

$$g[E(Y)] = g(\lambda) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

Επειδή ο ρυθμός  $\lambda$  είναι πάντα θετικός επιλέγεται μία συνάρτηση σύνδεσης («link function») τέτοια, ώστε η γραμμική πρόβλεψη («linear predictor»)  $\eta = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 +$

$\dots + \beta_n X_n$  να λαμβάνει θετικούς αριθμούς που ανήκουν στους πραγματικούς. Μία συνάρτηση σύνδεσης («link function») που αρμόζει στην παλινδρόμηση Poisson είναι ο λογάριθμος του ρυθμού  $\lambda$ :

$$\log(\lambda) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n = \eta$$

(McCullagh & Nelder, 1989)

Οι συντελεστές παλινδρόμησης, δηλαδή τα επιμέρους  $\beta$  της παραπάνω εξίσωσης εκτιμώνται μέσω της μεθόδου μεγίστης πιθανοφάνειας. Η αναλογία των ρυθμών επέλευσης του γεγονότος στα δύο επίπεδα μίας δίτιμης εξαρτημένης μεταβλητής («Rate Ratio») ερμηνεύεται ως:

$$RR = \frac{E(Y_i|1)}{E(Y_i|0)} = e^{\beta_k}$$

(Dobson & Barnett, 2018)

Οι συντελεστές παλινδρόμησης  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  εκφράζουν την αλλαγή στον λογάριθμο του  $\lambda$  για κάθε μία μονάδα αλλαγή της ανεξάρτητης μεταβλητής. Και η αντιλογαρίθμηση του  $\lambda$  για την ερμηνεία του, έχει ως συνέπεια να ερμηνεύουμε ως  $e^{\beta_k}$ , όπου  $\beta$  είναι οι  $\kappa$  συντελεστές.

Οι παραπάνω συντελεστές παλινδρόμησης  $\beta_k$  εξετάζονται για τη στατιστική τους σημαντικότητα μέσω του Wald test ή μέσω του  $\chi^2$  κριτηρίου. Συγκεκριμένα μία παράμετρος  $\beta_k$  αξιολογείται ως:

$$\frac{b_k - \beta_k}{s.e.(b_k)} \sim N(0,1)$$

Δηλαδή το κριτήριο αξιολογείται με βάση την τυποποιημένη κανονική κατανομή. Αντιστοίχως εξάγονται 95% διαστήματα εμπιστοσύνης για τους συντελεστές παλινδρόμησης  $\beta$ .

$$CI_{1-a}^{\beta_k} = \left[ \beta_k - Z_{\frac{a}{2}} \times SE(\beta_k), \beta_k + Z_{\frac{a}{2}} \times SE(\beta_k) \right]$$

(Dobson & Barnett, 2018)

### **Ημι-πιθανοφάνεια («Quasi – Likelihood»)**

Όπως προαναφέρθηκε, η διασπορά που παράγεται από τα δεδομένα είναι συχνά μεγαλύτερη από αυτή που προβλέπεται στην κατανομή Poisson, δηλαδή τα δεδομένα έχουν υπερδιασπορά (McCullagh & Nelder, 1989). Σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση ημιπιθανοφάνειας («quasi-likelihood»), στην οποία η συνάρτηση «πρόσδεσης» («link function») έχει παρόμοιες ιδιότητες με την λογαριθμική συνάρτηση («log – likelihood») αλλά δεν αντιστοιχεί σε κάποια συγκεκριμένη κατανομή πιθανοτήτων (McCullagh & Nelder, 1989). Δηλαδή αντί να υποθέτει μία κατανομή για τα δεδομένα, ορίζεται μία σχέση μεταξύ του μέσου όρου και της διασποράς, μέσω μίας συνάρτησης διασποράς σε σχέση με το μέσο.

Επομένως, γίνεται εκτίμηση της παραμέτρου  $\theta$  στο στατιστικό μοντέλο μέσω της μέγιστης ημι-πιθανοφάνειας («quasi-maximum likelihood estimate – QMLE») μέσω της μεγιστοποίησης της συνάρτησης του λογαρίθμου της συνάρτησης πιθανοφάνειας, αλλά χρησιμοποιώντας και τον πίνακα διακύμανσης και συνδιακύμανσης, υποθέτοντας ότι ορισμένα τμήματα της κατανομής δεν έχουν οριστεί επαρκώς. Αντίθετα, η εκτίμηση μέγιστης πιθανοφάνειας, μεγιστοποιεί την πραγματική συνάρτηση πιθανοφάνειας από τα δεδομένα και το συναγόμενο μοντέλο (Dobson & Barnett, 2018).

Ο εκτιμητής QMLE είναι σταθερός και ασυμπτωτικά ακολουθεί την κανονική κατανομή. Δεν είναι τόσο έγκυρος όσο ο εκτιμητής μέγιστης πιθανοφάνειας («Maximum Likelihood Estimate – MLE»), αλλά μπορεί να τον προσεγγίσει (Dobson & Barnett, 2018).

## ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Από την παραπάνω βιβλιογραφική ανασκόπηση αναδεικνύεται η ανάγκη τεκμηρίωσης των αρνητικών επιδράσεων της έκθεσης σε μακροπρόθεσμες μεταβολές της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα, λόγω του μικρού αριθμού μελετών σε σύγκριση με τον αριθμό μελετών που αφορούν σε βραχυχρόνιες εκθέσεις σε ασυνήθιστες θερμοκρασίες. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνηθούν οι επιδράσεις δεικτών που χαρακτηρίζουν κάθε έτος ως προς τις παρατηρούμενες θερμοκρασίες (π.χ. θερμή περίοδος, ψυχρή περίοδος μηνών) στην ετήσια θνησιμότητα στην Αθήνα για την περίοδο 1992-2010. Με αυτό τον τρόπο θα διερευνηθεί κατά πόσο οι βραχύχρονες επιδράσεις ακραίων ή μη συνηθισμένων για μία περιοχή φαινομένων θερμοκρασίας εκτείνονται πέραν του χρονικού ορίου που αναγνωρίζουν οι μελέτες καθημερινών μετρήσεων («daily time series studies»). Η παραπάνω σχέση θα ελεγχθεί και για τα επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων για να φανεί αν τροποποιείται ή όχι η παραπάνω σχέση. Συγκεκριμένα, θα γίνει έλεγχος για το Όζον (O<sub>3</sub>) και το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), για τα οποία υπάρχουν επαρκή δεδομένα και είναι βιβλιογραφικά παράγοντες προς μελέτη. Τέλος, θα γίνει έλεγχος και για τα μέσα επίπεδα υγρασίας. Η ανάλυση θα γίνει χωριστά για άτομα άνω των 75 ετών και για επιμέρους αιτίες (καρδιαγγειακή θνησιμότητα, αναπνευστική θνησιμότητα).



## ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

### Σχεδιασμός μελέτης

Πρόκειται για μία οικολογική μελέτη χρονικών συγκρίσεων που αξιοποιεί ετήσια δεδομένα θερμοκρασίας και θνησιμότητας. («ecological temporal study using aggregated annual data of temperature and mortality»)

### Περιοχή μελέτης

**Διοικητικά στοιχεία.** Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά στην Αθήνα, πόλη του νομού Αττικής και την πρωτεύουσα της Ελλάδας. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) σχετικά με την απογραφή του 2001 (Καποδίστριας 2001) στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Περιφέρειας Πρωτευούσης περιλαμβάνονται οι εξής δήμοι: Δήμος Αθηναίων, Αγίας Βαρβάρας, Αγίας Παρασκευής, Αγίου Δημητρίου, Αγίων Αναργύρων, Αιγάλεω, Αλίμου, Αμαρουσίου, Αργυρούπολης, Βριλησίων, Βύρωνος, Γαλατσίου, Γλυφάδας, Δάφνης, Ελληνικού, Ζωγράφου, Ηλιούπολης, Ηρακλείου, Ιλίου (Νέων Λιοσίων), Καισαριανής, Καλλιθέας, Καματερού, Κηφισιάς, Λυκοβρύσεως, Μελισσίων, Μεταμορφώσεως, Μοσχάτου, Νέας Ερυθραίας, Νέας Ιωνίας, Νέας Σμύρνης, Νέας Φιλαδέλφειας, Νέας Χακληδόνας, Νέου Ψυχικού, Παλαιού Φαλήρου, Παπάγου, Περιστερίου, Πετρούπολεως, Πεύκης, Ταύρου, Υμηττού, Φιλοθέης, Χαϊδαρίου, Χαλανδρίου, Χολαργού, Ψυχικού, Βάρης, Βούλας, Βουλιαγμένης, Γέρακα, Πειραιώς, Αγίου Ιωάννη Ρέντη, Δραπετσώνας, Κερατσινίου, Κορυδαλλού, Νίκαιας, Περάματος και περιλαμβάνει τις κοινότητες Εκάλης, Νέας Πεντέλης και Πεντέλης (ΕΛ.ΣΤΑΤ.). Σύμφωνα με την ίδια απογραφή του 2001 ο πληθυσμός της Αθήνας ήταν 3.534.608 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.).

**Γεωμορφολογία.** Η Αθήνα βρίσκεται στο λεκανοπέδιο της Αττικής σε πεδιάδα που περιλαμβάνει τέσσερα βουνά: το Αιγάλεω δυτικά, την Πάρνηθα βόρεια, την Πεντέλη βορειοανατολικά και τον Υμηττό ανατολικά. Διαθέτει επίσης διάφορους λόφους, όπως τον Λυκαβηττό. Στα νότια οροθετείται από τον Σαρωνικό κόλπο.

**Κλίμα.** Σύμφωνα με τα στοιχεία από τον κλιματικό άτλαντα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας η Αθήνα έχει υποτροπικό μεσογειακό κλίμα, όπου με βάση την κλιματική ταξινόμηση Κέππεν – Γκάιγκερ (Köppen – Geiger) χαρακτηρίζεται ως «csa», δηλαδή εύκρατο ή μεσόθερμο υποτροπικό κλίμα με ξηρό καλοκαίρι (Κλιματολογικός Άτλας Ελλάδας, Ε.Μ.Υ.) (Kottek et al., 2005). Έχει θερμά και ξηρά καλοκαίρια με εναλλαγή σε ήπιους, υγρούς χειμώνες. Η Αθηναϊκή Ριβιέρα, δηλαδή η Αθηναϊκή ακτογραμμή κατατάσσεται στα θερμά ημίξηρα κλίματα σύμφωνα με την ίδια κλίμακα ως «bsh» (Κλιματολογικός Άτλας Ελλάδας, Ε.Μ.Υ.) (Kottek et al. 2005).

### **Δεδομένα**

**Πηγές δεδομένων.** Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε δεδομένα ήδη διαθέσιμα από προηγούμενα ερευνητικά προγράμματα στο Εργαστήριο Υγιεινής, Επιδημιολογίας και Ιατρικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (Ε.Κ.Π.Α.) στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών στη «Βιοστατιστική». Τα δεδομένα με τον αριθμό θανάτων τόσο των συνολικών όσο και για τις επιμέρους αιτίες (καρδιαγγειακοί, αναπνευστικοί θάνατοι) και για τις ηλικίες (> 75 ετών) προέρχονται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.), τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία, υγρασία) από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ν.Ο.Α.) και τέλος τα δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>) από το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής ρύπανσης του τμήματος ποιότητας της ατμόσφαιρας του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠ.ΕΝ./Ε.Δ.Π.Α.Ρ.). Τα δεδομένα αυτά έχουν συλλεγεί από διάφορους σταθμούς της Αθήνας για καταγραφή του όζοντος (O<sub>3</sub>) και για τα σωματίδια PM<sub>10</sub>, ενώ για το διοξείδιο του Αζώτου (NO<sub>2</sub>) τα δεδομένα λόγω της διαθεσιμότητάς τους για τα έτη προέρχονται αποκλειστικά από τον σταθμό «Πατησίων» στο κέντρο της Αθήνας.

**Αριθμοί θανάτων.** Τα δεδομένα αριθμού θανάτων είναι όλα σε ημερήσια μορφή (θάνατοι ανά ημέρα) και είναι διαθέσιμα ανά αιτία: από το 1992 έως το 2010 θάνατοι από φυσικά αίτια (ICD 9: 1-799), από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) και από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519). Επίσης, υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα αριθμού θανάτων για όλες τις παραπάνω αιτίες για άτομα άνω των 75 ετών για όλη την περίοδο μελέτης.

**Μετεωρολογικά δεδομένα.** Τα μετεωρολογικά δεδομένα είναι και αυτά διαθέσιμα όλα σε ημερήσια μορφή. Περιλαμβάνονται τιμές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, καθώς και τιμές μέσης σχετικής υγρασίας (%). Τα παραπάνω δεδομένα είναι διαθέσιμα για το σύνολο της περιόδου (1992 – 2010).

**Δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.** Υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για το Όζον ( $O_3$ ) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , μέγιστη ημερήσια μετακινούμενη μέση τιμή δώρου) για όλη την περίοδο μελέτης, δηλαδή 1992-2010 και για το διοξείδιο του αζώτου  $\text{NO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , μέσος 24ώρου) (από τον σταθμό Πατησίων) για το σύνολο της περιόδου μελέτης.

**Ελλείπουσες τιμές (Missing Values).** Υπάρχουν 10 ημέρες με ελλείπουσες τιμές για το χρονικό διάστημα 1-10/7/1996 στις μετρήσεις μέσης θερμοκρασίας και μέσης υγρασίας.

## Στατιστική Ανάλυση

**Επεξεργασία της βάσης δεδομένων.** Με στόχο να ανιχνευθούν ετήσιες επιδράσεις της θερμοκρασίας, χρειάζεται να δημιουργηθούν ετήσιοι δείκτες, δηλαδή αθροίσματα και μέσοι όροι κατά περίπτωση, των ημερησίων τιμών, τα οποία περιλαμβάνονται στα αρχικά δεδομένα (έτος με την έννοια του ημερολογιακού έτους).

Οι ημερήσιες τιμές αριθμού θανάτων ανά αιτία (φυσικά αίτια, αναπνευστικά αίτια, καρδιαγγειακά αίτια) συνοψίστηκαν σε άθροισμα ανά έτος για όλη την περίοδο ανάλυσης. Μάλιστα, τα αθροίσματα αυτά για τους θανάτους από όλες τις αιτίες («total mortality») και τις δύο επιμέρους αιτίες, καρδιαγγειακοί θάνατοι και αναπνευστικοί θάνατοι («cardiovascular mortality, respiratory mortality») συνοψίστηκαν και για τα άτομα άνω των 75 ετών.

Η θερμοκρασία συνοψίστηκε για το έτος σε μέσο όρο των μέσων ημερησίων θερμοκρασιών ανά ημέρα του κάθε έτους. Το ίδιο και η σχετική υγρασία (%). Ακόμη οι ημερήσιες τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων ( $O_3$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{NO}_2$ ) συνοψίστηκαν ως μέση τιμή της συγκέντρωσής τους ανά έτος για όλη την περίοδο μελέτης.

Ακόμη η θερμοκρασία συνοψίστηκε σε μέσο όρο των μέσων θερμοκρασιών για κάθε θερμή περίοδο του έτους (1 Απριλίου έως 30 Σεπτεμβρίου) και για κάθε ψυχρή περίοδο του έτους (1 Οκτωβρίου έως 31 Μαρτίου). Η επιλογή των εξαμηνιαίων περιόδων έγινε με βάση τον ορισμό τους από βιβλιογραφική επιλογή (Analitis et al., 2014), και με το σκεπτικό δηλαδή ότι και προγενέστερες μελέτες στην περιοχή της Αθήνας ορίζουν σε αυτό το χρονικό διάστημα θερμή και ψυχρή περίοδο για την ανίχνευση επιδράσεων της θερμοκρασίας, και συγκεκριμένα της ζέστης στη θερμή και του κρύου στη ψυχρή περίοδο. Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα επίπεδα σχετικής υγρασίας (%).

**Μέθοδος βαθμοημερών («Degree day approach»).** Ένας εναλλακτικός τρόπος ορισμού της έκθεσης και της ανίχνευσης των επιδράσεων της υψηλής ή της χαμηλής θερμοκρασίας είναι αυτός που εφαρμόζεται από τους Goggins et al. (2015), Rehill et al. (2015) και τους Armstrong et al. (2017), ο αναφερόμενος ως «degree – day approach», δηλαδή ημέρες με βαθμούς που λαμβάνουν λόγω της θερμοκρασίας τους πάνω από το «όριο», όπου το όριο («threshold») είναι η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στην ελάχιστη θνησιμότητα. Αυτές οι ημέρες αντιστοιχούν σε «βαθμοημέρες» («degree days») ζέστης και κρύου αντίστοιχα.

Για την Αθήνα έχει αναγνωρισθεί τέτοιο όριο από τους Analitis & Katsouyanni (2016) για τις επιδράσεις της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στη θνησιμότητα από όλα τα φυσικά αίτια, με στόχο την ανίχνευση των επιδράσεων της ζέστης. Στη μέση θερμοκρασία το όριο ή αλλιώς το σημείο καμπής, ή το σημείο ελάχιστης θνησιμότητας (MMT) της γραμμής της σχέσης θανάτων και θερμοκρασίας είναι  $27,3^{\circ}\text{C}$  (τυπική απόκλιση = 0,25). Στην παρούσα ανάλυση (ακολουθώντας και τη μεθοδολογία των Rehill et al (2015)) λήφθηκε ως όριο για την χαμηλή θερμοκρασία το ίδιο με την θερμή, θεωρώντας μορφή U- της σχέσης θερμοκρασίας και θνησιμότητα, όπου κάτω από αυτό το σημείο αρχίζουν να εμφανίζονται επιδράσεις του κρύου και πάνω από αυτό το σημείο αρχίζουν να εμφανίζονται επιδράσεις της ζέστης. Από την παραπάνω μεθοδολογία προκύπτουν δύο μεταβλητές έκθεσης, μία για τις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας (ζέστης – «heat effect») και μία για τις επιδράσεις της χαμηλής θερμοκρασίας (κρύου – «cold effect»).

Η μεταβλητή που ανιχνεύει τις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας («heat effect») η οποία αφορά στις βαθμομημέρες πάνω από το όριο των 27,3° C («heat degree days») και υπολογίζεται ως ο μέση τιμή ανά έτος των βαθμών που προκύπτουν από την διαφοράς της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας - του ορίου 27,3° C («heat degree days mean») για τις ημέρες που έχουν θερμοκρασία πάνω από 27,3° C και περιλαμβάνονται στην θερμή εξαμηνιαία περίοδο, όπως αυτή ορίστηκε παραπάνω. Σχηματικά:

$$\text{Βαθμομημέρες ζέστης έτους} = \frac{\sum(\text{μέση ημερήσια θερμοκρασία} - 27,3)}{N}$$

, όπου  $N$  οι βαθμομημέρες της θερμής περιόδου

Η μεταβλητή που ανιχνεύει τις επιδράσεις της χαμηλής θερμοκρασίας («cold effect») η οποία αφορά στις βαθμομημέρες κάτω από το όριο των 27,3° C («cold degree days») και υπολογίζεται ως ο μέση τιμή ανά έτος των βαθμών που προκύπτουν από την διαφοράς του ορίου 27,3° C - της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας («cold degree days mean») για τις ημέρες που έχουν θερμοκρασία κάτω από 27,3° C και περιλαμβάνονται στην ψυχρή εξαμηνιαία περίοδο, όπως αυτή ορίστηκε παραπάνω. Σχηματικά:

$$\text{Βαθμομημέρες κρύου έτους} = \frac{\sum(27,3 - \text{μέση ημερήσια θερμοκρασία})}{N}$$

, όπου  $N$  οι βαθμομημέρες της ψυχρής περιόδου

**Αρχική ανάλυση.** Στην αρχή εξετάστηκαν οι συσχετίσεις όλων των μεταβλητών μεταξύ τους, ώστε να αξιολογηθεί η ύπαρξη οιασδήποτε υψηλής συσχέτισης. Ακόμη, έγινε η περιγραφική ανάλυση των δεδομένων μελέτης. Στη συνέχεια διεξήχθη η ανάλυση με χρήση των μοντέλων παλινδρόμησης.

**Μοντέλα παλινδρόμησης.** Για όλες τις αναλύσεις παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ανοικτού κώδικα R – programming. Η βιβλιοθήκη που χρησιμοποιήθηκε είναι η βασική του κώδικα R με όνομα «stats» για αναλύσεις γενικευμένων γραμμικών μοντέλων («generalized linear models» - «glm») Για όλα τα μοντέλα που αφορούν στη διερεύνηση των επιδράσεων της ετήσιας θερμοκρασίας στην ετήσια θνησιμότητα πραγματοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης υποθέτοντας κατανομή

Poisson για την μεταβλητή έκβασης (αριθμός θανάτων) με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας «quasi- Poisson», ορίζοντας δηλαδή αυτή την οικογένεια («family») κατανομών στο μοντέλο της R. Η ανάλυση αφορούσε στις εξής εκβάσεις:

**Έκβαση.** Χρησιμοποιήθηκαν εναλλακτικά 3 εκβάσεις: το σύνολο του αριθμού των θανάτων ανά έτος από φυσικά αίτια («total deaths from all natural causes»), το σύνολο του αριθμού των θανάτων ανά έτος από καρδιαγγειακά αίτια («total deaths from cardiovascular causes») και το σύνολο του αριθμού των θανάτων ανά έτος από αναπνευστικά αίτια («total deaths from respiratory causes»).

**Έκθεση.** Η παραπάνω ανάλυση διεξήχθη με τις εξής τροποποιήσεις ως προς την μεταβλητή έκθεσης (δηλαδή τη μέση ετήσια θερμοκρασία), ώστε να προκύψουν τα εξής βασικά μοντέλα:

Διερευνήθηκε η επίδραση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της θερμής περιόδου («mean summer period temperature») υπολογισμένη με βάση την μέση ημερήσια θερμοκρασία της θερμής περιόδου (έκθεση – «exposure») στο σύνολο του ετήσιου αριθμού θανάτων από φυσικά αίτια (έκβαση – «outcome»).

Ακόμη, διερευνήθηκε η επίδραση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της ψυχρής περιόδου («mean winter period temperature») υπολογισμένη με βάση την μέση ημερήσια θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου (έκθεση – «exposure») στο σύνολο του ετήσιου αριθμού θανάτων από φυσικά αίτια (έκβαση – «outcome»).

Το ίδιο έγινε και για τις αντίστοιχες βαθμομέρες, δηλαδή τις «degree-day» μεταβλητές. Συγκεκριμένα:

Διερευνήθηκε η επίδραση της μέσης ετήσιας βαθμομέρας για την εκτίμηση της υψηλής θερμοκρασίας («mean heat degree days») (έκθεση – «exposure») στο σύνολο του ετήσιου αριθμού θανάτων από φυσικά αίτια (έκβαση – «outcome»).

Ακόμη, διερευνήθηκε η επίδραση της μέσης ετήσιας βαθμομέρας για την εκτίμηση της χαμηλής θερμοκρασίας («cold heat degree days») (έκθεση – «exposure») στο σύνολο του ετήσιου αριθμού θανάτων από φυσικά αίτια (έκβαση – «outcome»).

Ακόμη, όπως προαναφέρθηκε, τα παραπάνω μοντέλα επαναλήφθηκαν και για θανάτους από καρδιαγγειακά αίτια, καθώς και για θανάτους από αναπνευστικά αίτια ως μεταβλητή έκβασης («outcome»).

Χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφοροποιήσεις ως προς την έκθεση: μέση ημερήσια θερμοκρασία θερμής εξαμηνιαίας περιόδου (ως δείκτης των υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια ενός έτους) «mean summer period temperature», μέση ημερήσια θερμοκρασία ψυχρής εξαμηνιαίας περιόδου (ως δείκτης των ψυχρών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια ενός έτους) «mean winter period temperature» και μεταβλητή μέσου όρου βαθμοημερών για την θερμή περίοδο («mean heat degree days» - DDheat) (ως ετήσια μεταβλητή) και μεταβλητή βαθμοημερών για τη ψυχρή περίοδο («mean cold degree days» - DDcold) (ως ετήσια μεταβλητή). Οι 4 αυτοί δείκτες έκθεσης χρησιμοποιήθηκαν εναλλακτικά σε διαφορετικά μοντέλα, ενώ τέλος εφαρμόστηκαν και μοντέλα με ταυτόχρονη εισαγωγή της θερμοκρασίας θερμής και ψυχρής περιόδου καθώς και των αντίστοιχων «βαθμοημερών».

**Συμμεταβλητές.** Στα παραπάνω μοντέλα παλινδρόμησης συμπεριλαμβανόταν πάντα η μέση σχετική υγρασία (%) της αντίστοιχης κάθε φορά περιόδου και εισάγονταν εναλλασσόμενοι κάθε φορά οι ατμοσφαιρικοί ρύποι.

**Υγρασία.** Η υγρασία, συσχετίζεται εξ ορισμού με τη θερμοκρασία και αποτελεί πιθανό παράγοντα που επηρεάζει τη θνησιμότητα, επομένως αποφασίστηκε να εντάσσεται πάντα σε όλα τα μοντέλα παλινδρόμησης, ώστε να ελέγχεται η επίδρασή της. Εντάσσεται με την μορφή της εποχικής υγρασίας, δηλαδή στην εκτίμηση της επίδρασης της υψηλής θερμοκρασίας της θερμής περιόδου («mean summer period temperature») και των βαθμοημερών ζέστης («DDheat») με την μορφή της σχετικής υγρασίας (%) της θερμής περιόδου ανά έτος («mean summer period humidity»). Ενώ για την αντίστοιχη ψυχρή περίοδο («mean winter period temperature») και τις αντίστοιχες βαθμοημέρες κρύου («DDcold») εντάσσεται με την μορφή της σχετικής υγρασίας (%) της ψυχρής περιόδου ανά έτος («mean winter period humidity»). Στα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν δύο εκθέσεις και από τις δύο περιόδους, δηλαδή βαθμοημέρες ζέστης και κρύου, αλλά και μέση ετήσια θερμοκρασία ψυχρής και μέση ετήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου εισήχθη η μέση ετήσια σχετική υγρασία («mean relative humidity»).

**Ατμοσφαιρικοί ρύποι (Οζόν, διοξείδιο Αζώτου).** Σε κάθε μοντέλο περιλήφθηκαν εναλλακτικά το όζον και το διοξείδιο του αζώτου, ώστε να ελεγχθεί η επίδρασή τους. Δυστυχώς τα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια PM<sub>10</sub> αποφασίστηκε να μην περιληφθούν στα μοντέλα επειδή δεν ήταν διαθέσιμα για όλα τα έτη και έτσι αναφέρονται μόνο στην περιγραφική ανάλυση των δεδομένων.

**Μακροχρόνιες Επιδράσεις («long-term trends»)** . Επειδή και ο αριθμός των θανάτων και η μέση ετήσια θερμοκρασία παρουσιάζουν μια διαχρονική αύξηση για την περίοδο μελέτης, πιθανόν λόγω της γήρανσης του πληθυσμού, εισήχθη αριθμητική μεταβλητή για την διαχρονική τάση η οποία ισοδυναμούσε με τον αριθμό των 19 χρόνων υπό μελέτη, δηλαδή από το 1 έως το 19. Η εισαγωγή αυτής της μεταβλητής έγινε ως ανάλυση ευαισθησίας, δηλαδή αξιολογήθηκε η επίδρασή της με την εισαγωγή της ή όχι στα μοντέλα παλινδρόμησης.

Επομένως, για παράδειγμα, το μοντέλο επίδρασης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών) της θερμής περιόδου στον ετήσιο αριθμό θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες, το μοντέλο διαμορφώθηκε ως εξής:

*Σύνολο ανά έτος θανάτων από φυσικές αιτίες =  $\beta_0 + \beta_1 \times$  μέση ετήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου +  $\beta_2 \times$  μέση ετήσια σχετική υγρασία θερμής περιόδου +  $\beta_3$  μέση ετήσια συγκέντρωση ρύπου ( $O_3$  ή  $NO_2$ ),*

ενώ εφαρμόστηκαν και μοντέλα με την προσθήκη της διαχρονικής τάσης, δηλαδή:

*Σύνολο ανά έτος θανάτων από φυσικές αιτίες =  $\beta_0 + \beta_1 \times$  μέση ετήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου +  $\beta_2 \times$  μέση ετήσια σχετική υγρασία θερμής περιόδου +  $\beta_3$  μέση ετήσια συγκέντρωση ρύπου ( $O_3$  ή  $NO_2$ ) +  $\beta_4 \times f(\text{τάση}, df = 1)$*

Αντίστοιχα για τις υπόλοιπες εκθέσεις και εκβάσεις.

### **Λοιπές αναλύσεις**

**Ηλικία.** Τέλος, υπολογίστηκε η επίδραση της έκθεσης στην έκβαση και για άτομα άνω των 75 ετών, λόγω του πλήθους της βιβλιογραφίας που αναδεικνύει εντονότερες επιδράσεις της θερμοκρασίας στους ηλικιωμένους. Για θανάτους άνω των 75 ετών ως



έκβαση («outcome») έγινε η ανάλυση για όλες τις εκθέσεις και με τις παρακάτω συμμεταβλητές έκθεσης. Δηλαδή υπολογίστηκε η επίδραση των 4 εκθέσεων με μεταβλητή έκβασης την μεταβλητή συνολικού αριθμού θανάτων ατόμων παντός αιτίας άνω των 75 ετών ανά έτος («total mortality > 75 years old»), με την μεταβλητή συνολικού αριθμού καρδιαγγειακών αιτίων σε άτομα άνω των 75 ετών ανά έτος («cardiovascular mortality >75 years old») και τέλος με τη μεταβλητή συνολικού αριθμού αναπνευστικών θανάτων σε άτομα άνω των 75 ετών ανά έτος («respiratory mortality > 75 years old»). Επομένως, για τις παραπάνω 6 εκβάσεις (3 για το σύνολο των θανάτων ανεξαρτήτως ηλικίας και 3 μόνο για τα άτομα άνω των 75 ετών) εντάχθηκαν στο κάθε μοντέλο παλινδρόμησης οι συμμεταβλητές που προαναφέρθηκαν.

**Διαφορετικός ορισμός ημερολογιακού έτους.** Όλες οι παραπάνω αναλύσεις έγιναν αρχικά για τα ημερολογιακά έτη (1/1 μέχρι 31/12) αλλά επαναλήφθηκαν για διαφορετικό ορισμό του έτους ως εξής: Από 1 Οκτωβρίου ενός έτους έως 31 Σεπτεμβρίου του επόμενου. Ο παραπάνω τρόπος θεωρείται ότι μπορεί να αξιολογήσει το «harvesting» και είναι συμβατός με την προηγούμενη βιβλιογραφία (Armstrong et al., 2017; Goggins et al., 2015). Ειδικότερα με αυτό τον ορισμό περιλαμβάνονται σε κάθε έτος συνεχόμενοι οι 6 μήνες της ψυχρής περιόδου όπως και της θερμής. Με αυτό τον τρόπο ομαδοποιήθηκαν εκ νέου οι αρχικές μετρήσεις σε 18 ημερολογιακά έτη: 1993 – 2010 και πάνω στις νέες ετήσιες τιμές επαναλήφθηκαν οι παραπάνω αναλύσεις παλινδρόμησης.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Περιγραφική Ανάλυση Δεδομένων

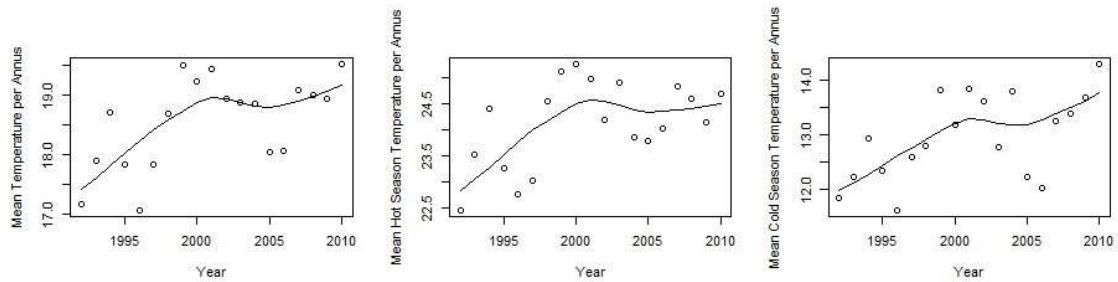
Στον Πίνακα 1.1 αναφέρονται συγκεντρωτικά περιγραφικά στοιχεία για κάθε μεταβλητή έκθεσης ανά ημερολογιακό έτος, για την περίοδο μελέτης (1992-2010).

Πίνακας 1.1. Περιγραφικά στοιχεία δεικτών έκθεσης για τη συνολική περίοδο μελέτης, 1992-2010.

Δείκτες έκθεσης	Μέση τιμή	Τυπική Απόκλιση	Διάμεσος	Εκατοστημόρια (25% - 75%)	Αριθμός ετών (N)
<b>Θερμοκρασία (°C)</b>					
Μέση ετήσια (°C)	18,55	0,75	18,84	(17,89 – 19,07)	19
Μέση θερμής περιόδου (°C)	24,13	0,82	24,19	(23,66 – 24,77)	19
Μέση ψυχρής περιόδου (°C)	12,97	0,78	12,95	(12,29 – 13,65)	19
Βαθμοημέρες «ζέστης» βάσει μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας	2,1	0,62	2,27	(1,54 – 2,6)	19
Βαθμοημέρες «κρύου» βάσει μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας	14,33	0,78	14,35	(13,62 – 15,06)	19

Αξίζει να παρατηρηθεί ότι η τυπική απόκλιση της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας θερμής περιόδου είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με την τυπική απόκλιση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της ψυχρής περιόδου, δηλαδή παρατηρείται ελαφρώς μεγαλύτερη μεταβλητότητα. Επίσης, αθροιστικά οι ημέρες που συμβάλλουν στην δημιουργία των βαθμοημερών ζέστης για την περίοδο μελέτης, δηλαδή οι ημέρες οι οποίες έχουν μέση θερμοκρασία άνω των 27° C και προέρχονται από τους μήνες Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο, είναι 1135. Οι ημέρες που συμβάλλουν στην δημιουργία των βαθμοημερών κρύου, δηλαδή για την περίοδο μελέτης οι ημέρες, κάτω από 27° C που προέρχονται από τους μήνες Οκτώβριο έως και Μάρτιο είναι 3.463.

Παρακάτω, στο Σχήμα 1, απεικονίζεται η μεταβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας, της μέσης θερμοκρασίας θερινής περιόδου και της μέσης θερμοκρασίας χειμερινής περιόδου ανά έτος για την περίοδο μελέτης.



Σχήμα 1. Γραφική απεικόνιση με σειρά από τα αριστερά προς τα δεξιά, της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας, της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας θερμής περιόδου και της μέσης θερμοκρασίας ψυχρής περιόδου με εφαρμογή γραμμής παλινδρόμησης «Lowess» («Locally Weighted Scatterplot Smoothing»).

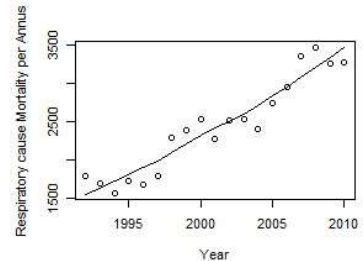
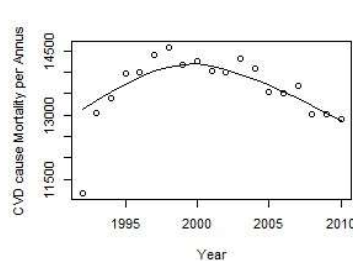
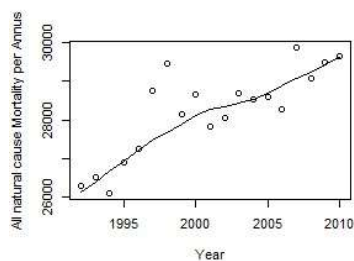
Παρατηρείται ότι είναι παρόμοιες οι ανοδικές διαχρονικές τάσεις, και της μέσης θερμοκρασίας θερμής περιόδου και της ψυχρής περιόδου και της μέσης θερμοκρασίας του έτους. Υπάρχουν και ορισμένες έκτοπες τιμές, όπως το 2005 και το 2006 στην ψυχρή περίοδο ή ορισμένες στο γράφημα της θερμοκρασίας για όλο το έτος.

Στον Πίνακα 1.2 παρατίθενται τα περιγραφικά στοιχεία των μεταβλητών έκβασης, για την περίοδο μελέτης (1992-2010).

Πίνακας 1.2. Περιγραφικά στοιχεία μεταβλητών έκβασης για τη συνολική περίοδο μελέτης, 1992-2010.

Μεταβλητές έκβασης	Μέση τιμή	Τυπική Απόκλιση	Διάμεσος	Εκατοστημόρια (25% - 75%)	Αριθμός ετών (N)
<b>Ετήσιος αριθμός θανάτων από όλες τις αιτίες</b>					
για όλες τις ηλικίες	28.213,89	1.135,6	28.533	(27252 – 29061)	19
>75 ετών	17.675,53	1.748,8	17.639	(16107 – 18861)	19
<b>Ετήσιος αριθμός θανάτων καρδιαγγειακής αιτίας</b>					
για όλες τις ηλικίες	13.644,05	788,41	13.964	(13065 – 14187)	19
>75 ετών	9.558,84	704,09	9.816	(9423 – 9894)	19
<b>Ετήσιος αριθμός θανάτων αναπνευστικής αιτίας</b>					
για όλες τις ηλικίες	2.433,9	618,52	2.407	(1788 – 2952)	19
>75 ετών	1.811,74	565,17	1.842	(1199 – 2311)	19

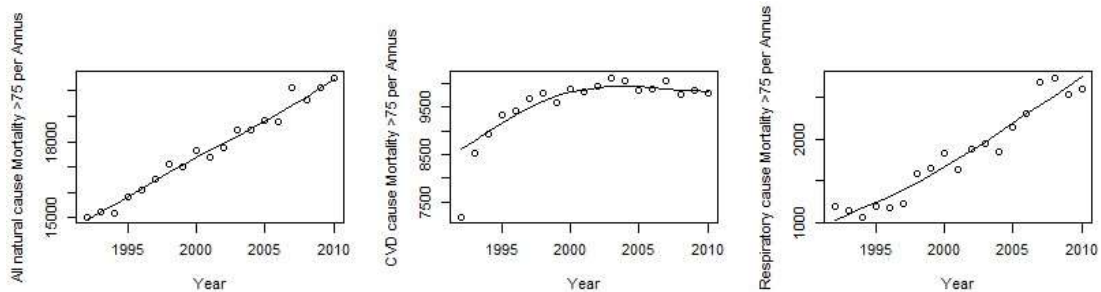
Για το σύνολο της υπό εξέταση περιόδου (1992 – 2010) κατεγράφησαν 536.064 θάνατοι, εκ των οποίων 259,237 (48,36%) αφορούσαν σε θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες και 46,244 (8,63%) αφορούσε σε θανάτους από αναπνευστικές αιτίες. Στη συνέχεια απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις των διαχρονικών τάσεων των θανάτων συνολικά και ανά αιτία.



Σχήμα 2. Γραφική απεικόνιση από τα αριστερά προς τα δεξιά, του ετήσιου αριθμού των θανάτων, του ετήσιου αριθμού θανάτων από καρδιαγγειακά και από αναπνευστικά αίτια ανά έτος για όλη την περίοδο μελέτης.

Παρατηρείται έντονη διαφοροποίηση της διαχρονικής τάσης στην περίπτωση των καρδιαγγειακών θανάτων. Πέρα από την ακραία τιμή του 1992, η γραμμή εμφανίζει μία πτωτική τάση μετά το 2000. Αυτό έχει παρατηρηθεί και στην Ευρώπη και αντικατοπτρίζει σύμφωνα με την βιβλιογραφία τη μείωση του καπνίσματος από το 2000 και έπειτα, ένας παράγοντας που επιδρά στο καρδιαγγειακό σύστημα. Αντίθετα, οι αναπνευστικοί θάνατοι κινούνται ανοδικά, το ίδιο και ο αριθμός θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες. Ωστόσο, όχι τόσο ανοδικά η θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες για όλες τις ηλικίες, όπως για τις ηλικίες άνω των 75 ετών.

Ακόμη παρατίθενται και οι γραφικές παραστάσεις των διαχρονικών τάσεων των θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών.



Σχήμα 3. Γραφική απεικόνιση από τα αριστερά προς τα δεξιά, του συνολικού ετήσιου αριθμού των θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών, καθώς και από καρδιαγγειακές και από αναπνευστικές αιτίες, ανά έτος για όλη την περίοδο μελέτης.

Παρατηρείται ότι η διαχρονική τάση των καρδιαγγειακών θανάτων αυξάνεται μέχρι το 2000 αλλά σε αντίθεση με την εικόνα για όλες τις ηλικίες, εδώ εμφανίζει μία σταθεροποίηση και όχι πτώση, επιπεδοποιείται. Η διαχρονική τάση των θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες και των θανάτων από αναπνευστικά αίτια για τα άτομα άνω των 75 ετών φαίνεται να είναι παρόμοια με αυτή για το συνολικό αριθμό των ατόμων. Παρατηρούνται από το 2007 και μετά μεγαλύτερες τιμές.

Η ανάλυση περιελάμβανε επίσης μεταβλητές για συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων και σχετικής υγρασίας, των οποίων τα περιγραφικά στοιχεία αποτυπώνονται στους Πίνακες 1.3 και 1.4.

Πίνακας 1.3. Περιγραφικά στοιχεία μεταβλητών ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τη συνολική περίοδο μελέτης, 1992-2010.

Ατμοσφαιρικοί ρύποι	Μέση τιμή	Τυπική Απόκλιση	Διάμεσος	Εκατοστημόρια (25% - 75%)	Αριθμός ετών (N)
Όζον (O <sub>3</sub> , μg / m <sup>3</sup> , μέγιστος ημερήσιος κινητός μέσος 8ωρου)	67,45	5,38	68,74	(63,44 – 72,52)	19
Διοξείδιο Αζώτου (NO <sub>2</sub> , μg/m <sup>3</sup> , μέσος 24ώρου)	94,72	8,2	94,57	(89,91 – 97,72)	19
Συγκέντρωση σωματιδίων PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> , μέσος 24ώρου)	40,48	4,26	40,79	(37,24 – 43,98)	15

Πίνακας 1.4. Περιγραφικά στοιχεία μεταβλητών σχετικής υγρασίας (%) για τη συνολική περίοδο μελέτης, 1992-2010.

Σχετική υγρασία (%)	Μέση τιμή	Τυπική Απόκλιση	Διάμεσος	Εκατοστημόρια (25% - 75%)	Αριθμός ετών (N)
Μέση ετήσια σχετική υγρασία (%)	63,07	4,67	61,79	(60,56 – 63,07)	19
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)	54,24	5,07	53,43	(51,36 – 54,40)	19
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)	71,9	4,68	70,96	(69,39 – 72,41)	19

## Συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι συσχετίσεις με τον συντελεστή συσχέτισης Pearson's  $r$  μεταξύ των μεταβλητών έκθεσης και των συμμεταβλητών που εντάχθηκαν στα μοντέλα και τα αποτελέσματα παρατίθενται στην επόμενη σελίδα στον Πίνακα 2.1.

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 2.1. δεν φαίνεται να υπάρχει καμία υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών έκθεσης και των αντίστοιχων ρύπων και των αντίστοιχων μεταβλητών υγρασίας που εντάσσονται κάθε φορά στα μοντέλα παλινδρόμησης. Παρατηρούνται ωστόσο υψηλές συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών μέση ετήσιας θερμοκρασίας και της αντίστοιχης εξάμηνης περιόδου, που δείχνει ότι οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη θερμή περίοδο ενός έτους συσχετίζονται επίσης με σχετικά θερμή χειμερινή περίοδο το ίδιο έτος. Αυτό είναι εν μέρει αναμενόμενο λόγω της ανοδικής τάσης της θερμοκρασίας διαχρονικά και στις 2 εποχές που φάνηκε στα παραπάνω σχήματα . Επίσης, παρατηρούνται υψηλές συσχετίσεις μεταξύ των βαθμοημερών και των μεταβλητών μέσης θερμοκρασίας κάθε περιόδου, εύρημα αναμενόμενο, εφόσον πρόκειται για αλγεβρικό μετασχηματισμό τους. Αντίστοιχους συσχετισμούς αναφέρουν και μελέτες με παρόμοια μεθοδολογία (Armstrong et al., 2017; Rehill et al., 2015).

Πίνακας 2.1. Συντελεστές συσχέτισης Pearson's r μεταξύ των δεικτών έκθεσης και των συμμεταβλητών των μοντέλων παλινδρόμησης

Δείκτες έκθεσης	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1. Μέση ετήσια θερμοκρασία (°C)	1.000									
2. Μέση ετήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου (°C)	0.925*	1.000								
3. Μέση ετήσια θερμοκρασία ψυχρής περιόδου (°C)	0.918*	0.703*	1.000							
4. Βαθμομημέρες «ζέστης»	0.711*	0.823*	0.494**	1.000						
5. Βαθμομημέρες «κρύου»	-0.918*	-0.703*	-1.000*	-0.494**	1.000					
6. Διοξείδιο Αζώτου (NO <sub>2</sub> , μg/m <sup>3</sup> , μέσος 24ώρου)	-0.423	-0.404	-0.386	-0.361	0.386	1.000				
7. Όζον (O <sub>3</sub> , μg / m <sup>3</sup> , μέγιστος ημερήσιος κινητός μέσος 8ωρου)	0.121	0.187	0.057	0.214	-0.057	-0.087	1.000			
8. Μέση ετήσια σχετική υγρασία (%)	-0.159	-0.229	-0.063	-0.296	0.063	-0.283	-0.328	1.000		
9. Μέση ετήσια σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)	-0.236	-0.289	-0.156	-0.325	0.156	-0.247	-0.338	0.958*	1.000	
10. Μέση ετήσια σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)	-0.047	-0.129	0.057	-0.231	-0.057	-0.298	-0.293	0.952*	0.825*	1.000

\*p < 0,001 \*\* p<0



### **Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλων παλινδρόμησης.**

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων παλινδρόμησης Quasi – Poisson ανά δείκτη έκθεσης, σύμφωνα με τον ημερολογιακό ορισμό του έτους (από 1/1 μέχρι 31/12).

### **Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου**

Στους πίνακες 3.1. και 3.2. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 3.1 Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.026 *	1.028 *	1.028 *	1.017	1.004
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.001	1.001	1.000	0.999
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )			(0.997, 1.004)	0.998	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)				(0.996, 1.000)	1.006 ***
					(1.003, 1.008)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 3.1. συνάγεται ότι για κάθε 1°C αύξησης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες αυξάνεται κατά 2,6% (95% Δ.Ε.: 0,5% – 4,7%). Μάλιστα, αυτό ισχύει ακόμα και αν ενταχθεί στο μοντέλο η σχετική υγρασία θερμής περιόδου και η μέση συγκέντρωση όζοντος, όπου φαίνεται ότι ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 2,8% (95% Δ.Ε.: 0,6% - 5%) για

κάθε 1°C αύξησης της θερμοκρασίας. Ωστόσο, όταν στο μοντέλο εντάσσεται η ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου η σχέση χάνει τη στατιστική σημαντικότητα της παρότι παραμένει προς την ίδια κατεύθυνση. Όταν επιπλέον εισάγεται στο μοντέλο μεταβλητή για την γραμμική τάση η επίδραση της θερμοκρασίας μικραίνει και δεν είναι στατιστικά σημαντική, ενώ αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,3% - 0,8%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Πίνακας 3.2. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood) , σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.065 *	1.076 *	1.076 *	1.043	1.002
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)	(1.013, 1.120)	(1.021, 1.134)	(1.020, 1.136)	(0.989, 1.101)	(0.992, 1.013)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)		1.005	1.005	1.001	0.999
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)		(0.997, 1.013)	(0.996, 1.014)	(0.993, 1.009)	(0.998, 1.000)
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)			0.999 (0.991, 1.007)	0.994 * (0.989, 0.999)	1.018 *** (1.016, 1.019)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 3.2. συνάγεται ότι για τα άτομα άνω των 75 ετών παρατηρείται ότι για κάθε 1°C αύξησης της μέσης θερμοκρασίας θερμής περιόδου ο κίνδυνος θανάτου αυξάνεται κατά 6,5% (95% Δ.Ε.: 1,3% - 12%). Εισάγοντας στο μοντέλο υγρασία και όζον παραμένει στατιστικώς σημαντικό το αποτέλεσμα αλλά η αύξηση είναι 7,6% (95%

Δ.Ε.:2,1% - 13,4%). Στα 2 τελευταία μοντέλα παρατηρείται ότι και στο μοντέλο όλων των ηλικιών, χάνεται δηλαδή η σχέση ετήσιας θερμοκρασίας και θνησιμότητας, ενώ φαίνεται διαχρονικά ότι αυξάνεται ο αριθμός των θανάτων σε άτομα άνω των 75 ετών κατά 1,8% ετησίως (95% Δ.Ε: 1,6% - 1,9%) στατιστικώς πολύ σημαντικά.

Στους πίνακες 3.3. και 3.4. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 3.3. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.029 (0.997, 1.062)	1.031 (0.997, 1.067)	1.029 (0.995, 1.065)	1.015 (0.978, 1.053)	1.043* (1.001, 1.087)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.001 (0.996, 1.007)	1.002 (0.997, 1.008)	0.999 (0.994, 1.005)	1.002 (0.997, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.003 (0.997, 1.008)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.997 (0.993, 1.001)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					0.997 (0.991, 1.003)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 3.3. συνάγεται ότι στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα στα αρχικά μοντέλα δεν επετεύχθη κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα. Όμως με την

εισαγωγή στο μοντέλο της διαχρονικής τάσης παρατηρείται μία αύξηση του κινδύνου θανάτου κατά 4.3% (95% Δ.Ε: 0,1%, 8,7%) που είναι στατιστικά σημαντική

Πίνακας 3.4. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.057 ** (1.020, 1.095)	1.066 ** (1.027, 1.105)	1.064 ** (1.025, 1.104)	1.032 (1.002, 1.064)	1.039 (0.998, 1.082)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.004 (0.999, 1.010)	1.005 (0.999, 1.011)	1.000 (0.996, 1.005)	1.002 (0.997, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			1.002 (0.997, 1.008)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.994 *** (0.991, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 * (1.001, 1.012)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 3.4. συνάγεται ότι για τα άτομα άνω των 75 ετών για κάθε 1°C αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας θερμής περιόδου ο κίνδυνος θανάτου αυξάνει

κατά 5,7% (95% Δ.Ε.: 2% - 9,5%). Μάλιστα, αν προστεθεί η σχετική υγρασία αυξάνεται κατά 6,6% (95% Δ.Ε.: 2,7% – 10,5%), ενώ μαζί με το όζον αυξάνεται κατά 6,4% (95% Δ.Ε.: 2,5% - 10,4%). Εδώ όμως τα δύο τελευταία μοντέλα δεν δίνουν στατιστικά σημαντική σχέση της θερμοκρασίας της θερμής περιόδου με την καρδιαγγειακή θνησιμότητα, αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των καρδιαγγειακών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,1% - 1,2%) και είναι στατιστικά σημαντική.

Στους πίνακες 3.5. και 3.6. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες άνω των 75 ετών.



Πίνακας 3.5. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.197 *	1.230 **	1.231 *	1.174	1.050
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)	(1.053, 1.361)	(1.072, 1.411)	(1.068, 1.419)	(1.007, 1.368)	(0.990, 1.114)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )		1.012	1.012	1.006	0.999
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )		(0.992, 1.032)	(0.990, 1.034)	(0.985, 1.028)	(0.992, 1.006)
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )			0.998 (0.978, 1.019)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.990 (0.975, 1.005)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.041 *** (1.034, 1.049)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 3.5. συνάγεται ότι για κάθε 1°C αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της θερμής περιόδου ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικές αιτίες αυξάνεται κατά 19,7% (95%Δ.Ε.: 5,3% - 36,1%). Στα μοντέλα που προστίθεται η σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος αυξάνεται η αναπνευστική θνησιμότητα κατά 23% (95% Δ.Ε: 7,2% - 41,1%). Όταν όμως εισαχθεί η μεταβλητή του NO<sub>2</sub> και η

γραμμική τάση παρατηρείται πολύ μικρότερη σχέση και μη στατιστικά σημαντική. Ο δείκτης γραμμικής τάσης είναι στατιστικά πολύ σημαντικός αποτυπώνοντας διαχρονική τάση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων 4,1% αύξηση ανά έτος (95% Δ.Ε: 3,4% - 4,9%).

Πίνακας 3.6. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.232 *	1.278 *	1.280 *	1.199	1.048
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)	(1.047, 1.450)	(1.073, 1.522)	(1.068, 1.535)	(0.990, 1.452)	(0.984, 1.116)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )		1.016	1.015	1.007	1.000
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )		(0.991, 1.041)	(0.988, 1.042)	(0.981, 1.034)	(0.992, 1.007)
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )			0.997		
			(0.971, 1.023)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.986	
				(0.968, 1.005)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.053 ***
					(1.045, 1.061)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 3.6. συνάγεται ότι για τα άτομα άνω των 75 ετών, για κάθε 1°C αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά την θερμή περίοδο, η αναπνευστική θνησιμότητα αυξάνεται κατά 23,2% (95% Δ.Ε: 4,7% - 45%) στατιστικώς σημαντικά. Αντίστοιχα στα μοντέλα που προστίθεται η σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος αυξάνεται κατά περίπου 28% (95% Δ.Ε: 6,8% - 53,5%). Και εδώ, όταν εισαχθεί η μεταβλητή του NO<sub>2</sub> και η γραμμική τάση παρατηρείται πολύ μικρότερη σχέση και μη στατιστικά σημαντική, αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών, όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 5,3% ανά έτος και είναι στατιστικά πολύ σημαντική (95% Δ,Ε: 4,5% - 6,1%).

Στα παραπάνω μοντέλα αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης γραμμικής τάσης, πλην των μοντέλων που αφορούν στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα όλων των ηλικιών, είναι στατιστικά σημαντικός και σε κάποια πολύ σημαντικός.

### **Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου**

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα με έκθεση την μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου ανά έτος.

Στους πίνακες 4.1. και 4.2. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία ψυχρής περιόδου για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 4.1 Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.027 *	1.027 *	1.027 *	1.019	1.004
	(1.006, 1.049)	(1.005, 1.049)	(1.004, 1.050)	(0.997, 1.041)	(0.986, 1.023)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.001	1.001	1.000	0.999
		(0.997, 1.004)	(0.997, 1.005)	(0.996, 1.003)	(0.997, 1.002)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			1.001		
			(0.997, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.998	
				(0.996, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 ***
					(1.003, 1.008)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 4.1. συνάγεται ότι η επίδραση της της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά τη ψυχρή περίοδο διατηρείται στα τρία πρώτα μοντέλα στο 2,7% (95% Δ.Ε: 0,4%, 5%) αύξηση της θνησιμότητας από όλες τις φυσικές αιτίες ανά 1°C αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας με κυμαινόμενα ανά μοντέλα διαστήματα εμπιστοσύνης. Όταν

εισαχθεί η μεταβλητή του NO<sub>2</sub> και η γραμμική τάση παρατηρείται πολύ μικρότερη σχέση και μη στατιστικά σημαντική, αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,3% - 0,8%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Πίνακας 4.2. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση	1.073 *	1.072 *	1.071 *	1.047	1.000
θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	(1.020, 1.129)	(1.018, 1.128)	(1.016, 1.130)	(0.998, 1.099)	(0.989, 1.011)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.003 (0.995, 1.012)	1.004 (0.995, 1.013)	1.001 (0.993, 1.008)	1.000 (0.998, 1.001)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.992, 1.008)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.994 * (0.989, 0.999)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.018 *** (1.016, 1.019)

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

Από τον πίνακα 4.2. συνάγεται ότι για κάθε  $1^{\circ}\text{C}$  αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου η θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες για τα άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 7,3% (95% Δ.Ε: 2% - 12,9%). Αν προστεθούν στο μοντέλο η υγρασία και η συγκέντρωση όζοντος πέφτει ελαφρώς στο 7,1% (95% Δ.Ε: 1,6% - 13%). Επίσης, όταν εισαχθεί η μεταβλητή του  $\text{NO}_2$  και η γραμμική τάση παρατηρείται πολύ μικρότερη σχέση και μη στατιστικά σημαντική, αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 1,8% ανά έτος (95% Δ.Ε: 1,6% - 1,9%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Στους πίνακες 4.3. και 4.4. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία ψυχρής περιόδου για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 4.3. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.014 (0.979, 1.050)	1.013 (0.978, 1.050)	1.011 (0.976, 1.048)	0.999 (0.964, 1.036)	1.019 (0.975, 1.065)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.002 (0.996, 1.008)	1.003 (0.997, 1.009)	1.000 (0.995, 1.006)	1.002 (0.996, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.004 (0.998, 1.009)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.996 (0.993, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					0.999 (0.992, 1.005)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 4.3. συνάγεται ότι η καρδιαγγειακή θνησιμότητα δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα σε όλα τα μοντέλα.

Πίνακας 4.4. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.048 *	1.047 *	1.045 *	1.021	1.016
	(1.007, 1.091)	(1.006, 1.089)	(1.004, 1.087)	(0.991, 1.052)	(0.975, 1.060)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.004	1.005	1.001	1.002
		(0.997, 1.010)	(0.998, 1.012)	(0.996, 1.006)	(0.996, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			1.004		
			(0.997, 1.010)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.993 ***	
				(0.990, 0.996)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.008 *
					(1.002, 1.014)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 4.4. συνάγεται ότι για τα άτομα άνω των 75 ετών, για κάθε 1°C αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου ο κίνδυνος θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια αυξάνεται κατά 4,8% (95% Δ.Ε: 0,7% - 9,1%). Για τα άλλα δύο μοντέλα η αύξηση βρίσκεται κοντά στο 4,5% ή 4,7% (95% Δ.Ε:0,4% -



8,7%). Όταν εισαχθεί η μεταβλητή του NO<sub>2</sub> και η γραμμική τάση παρατηρείται πολύ μικρότερη σχέση και μη στατιστικά σημαντική, ενώ ο δείκτης γραμμικής τάσης είναι στατιστικά σημαντικός, αποτυπώνοντας διαχρονική αύξηση του αριθμού των καρδιαγγειακών θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών κατά 0,8% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,2% - 1,4%).

Στους πίνακες 4.5. και 4.6. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία ψυχρής περιόδου για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 4.5. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.189 *	1.187 *	1.187 *	1.134	0.996
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)	(1.039, 1.361)	(1.033, 1.364)	(1.028, 1.371)	(0.984, 1.307)	(0.940, 1.055)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)		1.003	1.003	0.999	0.994
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)		(0.982, 1.025)	(0.980, 1.027)	(0.977, 1.020)	(0.986, 1.002)
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)			1.000	0.988	1.046 ***
			(0.978, 1.022)	(0.973, 1.003)	(1.037, 1.054)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 4.5. συνάγεται ότι για κάθε 1°C αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικές αιτίες αυξάνεται κατά 18,9% (95% Δ.Ε: 3,9% - 36,1%). Και στα υπόλοιπα μοντέλα κυμαίνεται κοντά στο 18,7% (95% Δ.Ε: 2,8% - 37,1%). Και εδώ όταν εισαχθεί η

μεταβλητή του NO<sub>2</sub> και η γραμμική τάση παρατηρείται πολύ μικρότερη σχέση και μη στατιστικά σημαντική, αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 4,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 3,7% - 5,4%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Πίνακας 4.6. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.225 *	1.222 *	1.222 *	1.150	0.980
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)	(1.034, 1.452)	(1.027, 1.453)	(1.021, 1.463)	(0.966, 1.370)	(0.924, 1.039)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )		1.006	1.006	1.000	0.996
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )		(0.980, 1.033)	(0.977, 1.036)	(0.974, 1.026)	(0.987, 1.004)
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)			0.999	0.984	1.058 ***
			(0.972, 1.027)	(0.965, 1.002)	(1.049, 1.067)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 4.6. συνάγεται ότι για τα άτομα άνω των 75 ετών, για κάθε 1°C αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια αυξάνεται κατά 22,5% (95% Δ.Ε: 3,4% - 45,2%), ενώ διατηρείται στα άλλα δύο μοντέλα στο 22,2% (95% Δ.Ε: 2,1% - 46,3%). Επίσης, όταν εισαχθεί η μεταβλητή του NO<sub>2</sub> και η γραμμική τάση παρατηρείται πολύ μικρότερη σχέση, αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 5,8% ανά έτος (95% Δ.Ε: 4,9% - 6,7%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Στα παραπάνω μοντέλα αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης γραμμικής τάσης, πλην των μοντέλων που αφορούν στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα όλων των ηλικιών, είναι στατιστικά σημαντικός και σε κάποια πολύ σημαντικός, όπως και με την έκθεση της μέσης θερμοκρασίας θερμής περιόδου.

### **Βαθμομέρες ζέστης**

Στους πίνακες 5.1. και 5.2. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες ζέστης για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 5.1 Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμομημέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομημέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.048 *** (1.025, 1.071)	1.053 *** (1.030, 1.077)	1.053 *** (1.029, 1.078)	1.043 ** (1.018, 1.069)	1.027 * (1.005, 1.049)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.002 (0.999, 1.005)	1.002 (0.999, 1.005)	1.001 (0.998, 1.004)	1.000 (0.998, 1.002)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.997, 1.003)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.999 (0.997, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.004 ** (1.002, 1.007)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 5.1. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομημέρα ζέστης κάθε έτους ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες αυξάνεται κατά 4,8% (95% Δ.Ε.: 2,5% - 7,1%) στατιστικώς σημαντικά. Στα μοντέλα με τη μέση ετήσια σχετική υγρασία και την συγκέντρωση όζοντος η αύξηση κυμαίνεται στο 5,3%(95% Δ.Ε.: 2,9%, 7,8%) ανά 1 βαθμομημέρα ζέστης, ενώ με την συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου στο 4,3% (95% Δ.Ε.:

1,8% - 6,9%). Τέλος, όταν συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο η μεταβλητή της γραμμικής τάσης, η επίδραση των βαθμοημερών ζέστης παραμένει στατιστικώς σημαντική, δηλαδή για κάθε μία βαθμοημέρα ζέστης, ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες αυξάνεται κατά 2,7% (95% Δ.Ε: 0,5% - 4,9%), ενώ η γραμμή τάσης είναι επίσης στατιστικώς σημαντική αποτυπώνοντας διαχρονική αύξηση αριθμού των θανάτων κατά 0,4% (95% Δ.Ε: 0,2% - 0,7%).

Πίνακας 5.2. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμοημέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμοημέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμοημέρες ζέστης	1.098 ** (1.031, 1.169)	1.116 ** (1.047, 1.190)	1.118 ** (1.045, 1.195)	1.079 * (1.011, 1.151)	1.013* (1.000, 1.026)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.006 (0.998, 1.014)	1.006 (0.997, 1.014)	1.002 (0.995, 1.010)	1.000 (0.998, 1.001)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.999 (0.991, 1.006)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.994 * (0.990, 0.999)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.017 *** (1.016, 1.018)

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

Από τον πίνακα 5.2. συνάγεται ότι για τα άτομα άνω των 75 ετών, για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες αυξάνεται κατά 9,8% (95% Δ.Ε: 3,1% - 16,9%) στατιστικώς σημαντικά. Για τα μοντέλα παλινδρόμησης, στα οποία ενσωματώνεται η μέση ετήσια σχετική υγρασία και η συγκέντρωση όζοντος, η επίδραση των βαθμομερών ζέστης στη θνησιμότητα άνω των 75 ετών ανεβαίνει στο 11,6% ή 11,8%, ενώ πέφτει όταν εντάσσεται η μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου στο 7,9% (95% Δ.Ε:1,1% - 15,1%). Στο μοντέλο όπου προστίθεται η γραμμική τάση, αυτή φαίνεται να είναι στατιστικώς πολύ σημαντική και είναι στατιστικά σημαντικός και ο δείκτης των βαθμομερών ζέστης ελέγχοντας για γραμμική τάση. Δηλαδή για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης, ο κίνδυνος θανάτου για τα άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 1,3% (95%Δ.Ε: 0,001%, 2,6%), ενώ η γραμμική τάση είναι επίσης στατιστικώς σημαντική αποτυπώνοντας διαχρονική αύξηση αριθμού των θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών κατά 1,7% (95% Δ.Ε: 1,6% - 1,8%).

Στους πίνακες 5.3. και 5.4. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες ζέστης για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 5.3. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τις βαθμομημέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομημέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.041 (0.999, 1.084)	1.046 (1.000, 1.093)	1.043 (0.997, 1.090)	1.026 (0.978, 1.076)	1.069 * (1.013, 1.129)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.002 (0.996, 1.007)	1.002 (0.997, 1.008)	1.000 (0.994, 1.005)	1.003 (0.997, 1.009)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.003 (0.997, 1.008)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.997 (0.994, 1.001)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					0.996 (0.990, 1.002)

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

Από τον πίνακα 5.3. συνάγεται ότι αν και τα περισσότερα μοντέλα που αφορούν στους καρδιαγγειακούς θανάτους δεν είναι στατιστικώς σημαντικά, στο μοντέλο όπου εντάσσεται η γραμμική τάση, για κάθε μία βαθμομημέρα ζέστης, ο κίνδυνος θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια αυξάνεται κατά 6,9% (95% Δ.Ε: 1,3% - 12,9%). Είναι το μόνο



μοντέλο στο οποίο παρατηρείται στατιστική σημαντικότητα ελέγχοντας για γραμμική τάση από εκθέσεις με έκβαση την καρδιαγγειακή θνησιμότητα.

Πίνακας 5.4. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τις βαθμομημέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομημέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.079 ** (1.031, 1.129)	1.093 ** (1.044, 1.145)	1.091 ** (1.040, 1.144)	1.053 * (1.016, 1.092)	1.058* (1.002, 1.117)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.005 (0.999, 1.010)	1.005 (1.000, 1.011)	1.001 (0.997, 1.005)	1.003 (0.997, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.002 (0.997, 1.008)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.994 *** (0.991, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 (1.000, 1.011)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 5.4. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομημέρα ζέστης, ο κίνδυνος θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια σε άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 7,9% (95%

Δ.Ε: 3,1% - 12,9%) στατιστικώς σημαντικά. Στα μοντέλα στα οποία εντάσσεται η σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος αυτό κυμαίνεται στο 9,3% και 9,1%, ενώ με την μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου η επίδραση των βαθμομερών ζέστης είναι 5,3% (95% Δ.Ε:1,6% - 9,2%). Τέλος όταν εισάγεται η γραμμική τάση, η σχέση παραμένει θετική με αύξηση 5.8% (95% Δ.Ε: 0,2%, 11,7%) και στατιστικά σημαντική.

Στους πίνακες 5.5. και 5.6. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες ζέστης για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 5.5. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες ζέστης	1.294 ** (1.104, 1.516)	1.350 ** (1.142, 1.595)	1.354 ** (1.138, 1.612)	1.286 * (1.075, 1.538)	1.091 * (1.015, 1.172)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.014 (0.995, 1.034)	1.013 (0.993, 1.034)	1.009 (0.989, 1.029)	1.000 (0.993, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.997 (0.977, 1.017)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.991 (0.977, 1.004)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.040 *** (1.032, 1.047)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 5.5. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικές αιτίες αυξάνεται κατά 29,4% (95% Δ.Ε: 10,4% - 51,6%). Στα μοντέλα στα οποία εντάσσεται η σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος αυτό κυμαίνεται στο 35% και 35,4% ενώ με την μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου η επίδραση των βαθμομερών ζέστης είναι 28,6% (95% Δ.Ε: 7,5% - 53,8%).

Τέλος, συμπεριλαμβάνοντας την γραμμή τάσης το αποτέλεσμα, δηλαδή για κάθε μία μονάδα αύξησης των βαθμομερών ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια αυξάνεται κατά 9,1% (1,5% - 17,2%), ενώ η γραμμή τάσης είναι επίσης στατιστικώς σημαντική αποτυπώνοντας διαχρονική αύξηση αριθμού των αναπνευστικών θανάτων κατά 0,4% (95% Δ.Ε: 3,2% - 4,7%).

Πίνακας 5.6. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες ζέστης	1.347 *	1.424 **	1.432 **	1.333 *	1.088 *
	(1.100, 1.649)	(1.151, 1.761)	(1.147, 1.788)	(1.065, 1.669)	(1.009, 1.174)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.018	1.017	1.010	1.001
		(0.994, 1.043)	(0.991, 1.043)	(0.986, 1.035)	(0.994, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			0.995		
			(0.970, 1.021)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.987	
				(0.970, 1.004)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.051 ***
					(1.044, 1.059)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 5.6. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια στα άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 34,7% (95% Δ.Ε: 10% - 64,9%). Στα μοντέλα στα οποία εντάσσεται η σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος αυτό κυμαίνεται 42,4% και στο 43,2% αντίστοιχα, ενώ με την μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου η επίδραση των βαθμομερών ζέστης είναι 33,3% (95% Δ.Ε: 6,5% - 66,9%).. Τέλος, συμπεριλαμβάνοντας και την γραμμική τάση, για κάθε μία μονάδα αύξησης των βαθμομερών ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικές αιτίες για τα άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 8,8% (95% Δ.Ε: 0,9% - 17,4%) ενώ η γραμμή τάσης είναι επίσης στατιστικώς σημαντική αποτυπώνοντας διαχρονική αύξηση αριθμού των αναπνευστικών θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών κατά 5,1% (95% Δ.Ε: 4,4% - 5,9%).

Στα παραπάνω μοντέλα αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης γραμμικής τάσης, πλην των μοντέλων που αφορούν στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα όλων των ηλικιών, είναι στατιστικά σημαντικός και σε κάποια πολύ σημαντικός, όπως και με τις προηγούμενες δύο εκθέσεις.

### **Βαθμομέρες κρύου**

Στα μοντέλα των βαθμομερών κρύου, η έκθεση (σε χαμηλές θερμοκρασίες) φαίνεται να λειτουργεί προστατευτικά έναντι του αριθμού των θανάτων. Αυτή η αρρυθμία οφείλεται πιθανόν στο γεγονός ότι η αυξητική τάση που παρατηρείται στη θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου είναι ανάλογη με την τάση που παρατηρείται τόσο στη θερμοκρασία της θερμής περιόδου όσο και της ετήσιας θερμοκρασίας (Σχήμα 1) και στην πράξη λειτουργεί ως δείκτης της θερμοκρασίας συνολικά εκτιμώντας έτσι την επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας η οποία συνδέεται με αύξηση στη θνησιμότητα. Υπάρχει δηλαδή συγχυτική επίδραση της διαχρονικής τάσης η οποία δεν μπορεί να ελεγχθεί. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται να μην ισχύει στην περίπτωση που εξαρτημένη μεταβλητή είναι οι αναπνευστικοί θάνατοι, αλλά και πάλι η επιβαρυντική σχέση του κρύου στην αναπνευστική θνησιμότητα δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Στους πίνακες 6.1. και 6.2. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες κρύου για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 6.1 Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμομέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες κρύου	0.974 * (0.953, 0.994)	0.974 * (0.953, 0.995)	0.974 * (0.953, 0.996)	0.982 (0.961, 1.004)	0.996 (0.978, 1.014)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.001 (0.997, 1.004)	1.001 (0.997, 1.005)	1.000 (0.996, 1.003)	0.999 (0.997, 1.002)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.001 (0.997, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.998 (0.996, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 *** (1.003, 1.008)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 6.1. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα κρύου, ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες μειώνεται, στατιστικώς σημαντικά, κατά 3% (95% Δ.Ε: 1% - 5%). Το ίδιο ισχύει και αν στο μοντέλο ενσωματωθούν οι μεταβλητές της σχετικής υγρασίας και της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης όζοντος. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,3% - 0,8%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Πίνακας 6.2. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμομέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες κρύου	0.932 * (0.886, 0.980)	0.933 * (0.887, 0.982)	0.933 * (0.885, 0.984)	0.955 (0.910, 1.002)	1.000 (0.989, 1.011)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.003 (0.995, 1.012)	1.004 (0.995, 1.013)	1.001 (0.993, 1.008)	1.000 (0.998, 1.001)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.992, 1.008)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.994 * (0.989, 0.999)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.018 *** (1.016, 1.019)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 6.2. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα κρύου ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες μειώνεται κατά 7% (95% Δ.Ε: 2% - 11%). Το ίδιο ισχύει και αν στο μοντέλο ενσωματωθούν οι μεταβλητές της σχετικής υγρασίας και της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης όζοντος. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της



γραμμικής τάσης είναι 1,8% ανά έτος (95% Δ.Ε: 1,6% - 1,9%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Στους πίνακες 6.3. και 6.4. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμοήμερες κρύου για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 6.3. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα κρύου, από τις βαθμομέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες κρύου	0.986 (0.953, 1.021)	0.987 (0.953, 1.023)	0.989 (0.955, 1.024)	1.001 (0.966, 1.037)	0.982 (0.939, 1.026)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.002 (0.996, 1.008)	1.003 (0.997, 1.009)	1.000 (0.995, 1.006)	1.002 (0.996, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.004 (0.998, 1.009)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.996 (0.993, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					0.999 (0.992, 1.005)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 6.3. συνάγεται ότι η μείωση κινδύνου στο μοντέλο των καρδιαγγειακών θανάτων και των βαθμομερών κρύου δεν παρουσιάζει στατιστική σημαντικότητα.

Πίνακας 6.4. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τις βαθμομημέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομημέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες κρύου	0.954 * (0.916, 0.993)	0.955 * (0.918, 0.994)	0.957 * (0.920, 0.996)	0.979 (0.950, 1.009)	0.984 (0.943, 1.026)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.004 (0.997, 1.010)	1.005 (0.998, 1.012)	1.001 (0.996, 1.006)	1.002 (0.996, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			1.004 (0.997, 1.010)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.993 *** (0.990, 0.996)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.008 * (1.002, 1.014)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 6.4. συνάγεται ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης των βαθμομημερών κρύου ο κίνδυνος θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια για άτομα άνω των 75 ετών μειώνεται κατά 5% (95% Δ.Ε: 1% - 9%). Το ίδιο ισχύει και αν στο μοντέλο ενσωματωθούν οι μεταβλητές της σχετικής υγρασίας και της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης όζοντος. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των καρδιαγγειακών θανάτων για τα άτομα

άνω των 75 ετών, όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,8% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,2% - 1,4%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Στους πίνακες 6.5. και 6.6. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμοήμερες κρύου για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 6.5. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες κρύου	0.841 * (0.735, 0.963)	0.842 * (0.733, 0.968)	0.842 * (0.729, 0.973)	0.882 (0.765, 1.017)	1.004 (0.948, 1.064)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.003 (0.982, 1.025)	1.003 (0.980, 1.027)	0.999 (0.977, 1.020)	0.994 (0.986, 1.002)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.978, 1.022)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.988 (0.973, 1.003)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.046 *** (1.037, 1.054)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 6.5. συνάγεται ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης των βαθμομερών κρύου ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια μειώνεται κατά 16% (95% Δ.Ε: 4% - 17%). Όταν εισάγεται η γραμμική τάση ο δείκτης των βαθμομερών κρύου είναι προς την αναμενόμενη κατεύθυνση, αλλά δεν επιτυγχάνεται στατιστική σημαντικότητα. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την

μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 4,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 3,7% - 5,4%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Πίνακας 6.6. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομημέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμοημέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες κρύου	0.816 * (0.689, 0.967)	0.819 * (0.688, 0.974)	0.818 * (0.683, 0.980)	0.869 (0.730, 1.035)	1.020 (0.962, 1.082)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.006 (0.980, 1.033)	1.006 (0.977, 1.036)	1.000 (0.974, 1.026)	0.996 (0.987, 1.004)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.999 (0.972, 1.027)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.984 (0.965, 1.002)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.058 *** (1.049, 1.067)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 6.6. συνάγεται ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης των βαθμοημερών κρύου ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια για άτομα άνω των 75 ετών μειώνεται

κατά 18% (3% - 32%). Το ίδιο ισχύει και αν στο μοντέλο ενσωματωθούν οι μεταβλητές της σχετικής υγρασίας και της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης όζοντος. Να σημειωθεί ότι και εδώ αν γίνει έλεγχος για την διαχρονική τάση, οι βαθμοημέρες κρύου κινούνται προς την αναμενόμενη κατεύθυνση, ωστόσο δεν επιτυγχάνεται στατιστική σημαντικότητα. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 5,8% ανά έτος (95% Δ.Ε: 4,9% - 6,7%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Στα παραπάνω μοντέλα αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης γραμμικής τάσης, πλην των μοντέλων που αφορούν στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα όλων των ηλικιών, είναι στατιστικά σημαντικός και σε κάποια πολύ σημαντικός, όπως και στις προηγούμενες εκθέσεις.

### **Αποτελέσματα συνδυαστικής ανάλυσης βαθμομερών κρύου και ζέστης**

Συμπεριλαμβάνοντας ταυτόχρονα ως ανεξάρτητες μεταβλητές και τις βαθμομέρες κρύου και τις βαθμομέρες ζέστης συνδυαστικά, ώστε να ελεγχθούν οι συγχυτικές επιδράσεις, φαίνεται αυτό που αναφέρθηκε και παραπάνω, ότι δηλαδή η επίδραση των βαθμομερών ζέστης είναι αυτές που επηρεάζουν στατιστικώς σημαντικά τον αριθμό των θανάτων στο επίπεδο του έτους. Αυτό που προαναφέρθηκε, ότι δηλαδή οι γραμμές τάσης μέσης θερμοκρασίας ψυχρής και μέσης θερμοκρασίας θερμής περιόδου είναι αντίστοιχες, δικαιολογεί την χαμηλή και σε κάποιες περιπτώσεις «προστατευτική» επίδραση που εμφανίζουν οι βαθμομέρες κρύου, οι οποίες στον τύπο δημιουργίας τους συμπεριλαμβάνουν τις μέσες θερμοκρασίες της ψυχρής περιόδου, θερμοκρασίες  $> 27^{\circ} \text{C}$ , δηλαδή αρκετά περισσότερες μέρες από τις βαθμομέρες ζέστης, οι οποίες έχουν μόνο τις μέρες  $> 27^{\circ} \text{C}$  της θερμής περιόδου. Η ερμηνεία των δεικτών είναι αντίστοιχη με παραπάνω.



Πίνακας 7.1 Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμομημέρες ζέστης και κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα (ζέστης ή κρύου).

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες κρύου	0.989 (0.969, 1.008)	0.990 (0.972, 1.009)	0.990 (0.971, 1.010)	0.993 (0.974, 1.012)	1.001 (0.985, 1.017)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.041 ** (1.015, 1.067)	1.047 ** (1.021, 1.074)	1.047 ** (1.020, 1.075)	1.041 ** (1.015, 1.069)	1.029 * (1.006, 1.052)
Μέση ετήσια σχετική υγρασία (%)		1.002 (0.999, 1.005)	1.002 (0.999, 1.005)	1.001 (0.998, 1.005)	1.001 (0.998, 1.003)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.997, 1.003)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.999 (0.997, 1.001)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.004 ** (1.002, 1.007)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 7.1. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες αυξάνεται κατά 4,1% (95% Δ.Ε: 1,5% - 6,7%).

Μάλιστα αν προστεθεί στο μοντέλο η μέση ετήσια σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος η επίδραση των βαθμομερών ζέστης αυξάνεται στο 4,7% (95% Δ.Ε: 1,5% - 6,9%). Ελέγχοντας για την γραμμική τάση όμως, η επίδραση του δείκτη μειώνεται και εντοπίζεται στο 2,9% (95% Δ.Ε: 0,6%, 5,2%). Τα αποτελέσματα για τις βαθμομέρες κρύου δεν είναι στατιστικώς σημαντικά. Τέλος ο δείκτης γραμμικής τάσης αποτυπώνει αύξηση του αριθμού των θανάτων από φυσικές αιτίες κατά 0,4% (95% Δ.Ε: 0,2% - 0,7%) ανά έτος.

Πίνακας 7.2. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμομημέρες ζέστης και κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομημέρα (ζέστης ή κρύου).

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες κρύου	0.956 (0.905, 1.009)	0.960 (0.912, 1.010)	0.960 (0.911, 1.012)	0.971 (0.925, 1.019)	1.003 (0.993, 1.013)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.067 (0.997, 1.143)	1.089 * (1.017, 1.165)	1.090 * (1.015, 1.170)	1.067 (0.998, 1.141)	1.015 * (1.002, 1.029)
Μέση ετήσια σχετική υγρασία (%)		1.007 (0.999, 1.015)	1.007 (0.998, 1.015)	1.004 (0.996, 1.012)	1.000 (0.998, 1.001)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.999 (0.992, 1.006)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.995 (0.991, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.017 *** (1.015, 1.019)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 7.2. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες για άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 9% περίπου (95% Δ.Ε:1,5% - 1,7%) συμπεριλαμβάνοντας μέση ετήσια σχετική υγρασία (%) και μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Το μοντέλο με τον έλεγχο για γραμμική τάση και μέση ετήσια σχετική υγρασία (%) επίσης εμφανίζει στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα, με χαμηλότερη επίδραση, στο 1,5% (95% Δ.Ε: 0,2%, 2,9%), ενώ ο δείκτης γραμμικής τάσης είναι στατιστικά πολύ σημαντικός αποτυπώνοντας αύξηση του αριθμού των θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών κατά 1,7% (95% Δ.Ε: 1,5% - 1,9%) ανά έτος.

Πίνακας 7.3. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τις βαθμομημέρες ζέστης και κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμοημέρα (ζέστης ή κρύου).

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες κρύου	1.002 (0.965, 1.042)	1.004 (0.966, 1.044)	1.003 (0.966, 1.043)	1.011 (0.974, 1.050)	0.991 (0.952, 1.031)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.042 (0.993, 1.094)	1.050 (0.999, 1.105)	1.047 (0.995, 1.102)	1.036 (0.984, 1.091)	1.074 * (1.016, 1.134)
Μέση ετήσια σχετική υγρασία (%)		1.003 (0.997, 1.009)	1.004 (0.998, 1.010)	1.001 (0.995, 1.007)	1.005 (0.999, 1.011)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.003 (0.998, 1.008)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.997 (0.993, 1.001)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					0.995 (0.989, 1.001)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 7.3. συνάγεται ότι τα αποτελέσματα για την σχέση των βαθμομημερών ζέστης με την καρδιαγγειακή θνησιμότητα παρουσιάζουν στατιστική

σημαντικότητα, στο μοντέλο που περιλαμβάνει έλεγχο της γραμμικής τάσης. Σε αυτό φαίνεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια αυξάνεται κατά 7,4% (95% Δ.Ε: 1,6% - 13,4%).

Πίνακας 7.4. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τις βαθμομέρες ζέστης και κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα (ζέστης ή κρύου).

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες κρύου	0.977 (0.937, 1.018)	0.981 (0.944, 1.018)	0.980 (0.944, 1.017)	0.994 (0.967, 1.021)	0.992 (0.953, 1.032)
Βαθμομέρες ζέστης	1.063 * (1.009, 1.120)	1.082 ** (1.029, 1.137)	1.078 * (1.025, 1.134)	1.055 * (1.015, 1.096)	1.062 * (1.005, 1.122)
Μέση ετήσια σχετική υγρασία (%)		1.006 * (1.001, 1.012)	1.007 * (1.001, 1.013)	1.002 (0.998, 1.007)	1.004 (0.998, 1.011)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.003 (0.997, 1.008)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.994 ** (0.992, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.004 (0.998, 1.011)

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

Από τον πίνακα 7.4. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια για τα άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 6,3% (95% Δ.Ε: 0,9% - 12%). Αν προστεθεί η υγρασία στο μοντέλο ο κίνδυνος κυμαίνεται στο 8,2% ανά μία βαθμομέρα, ενώ αν προστεθούν και τα επίπεδα όζοντος ετησίως κυμαίνεται στο 7,8%. Επίσης, παρατηρείται στατιστική σημαντικότητα ακόμη και όταν συμπεριληφθεί η γραμμική τάση στο μοντέλο παλινδρόμησης, καθώς για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 6,2% (95% Δ.Ε: 0,5% - 12,2%). Ακόμη, στα μοντέλα αυτά η μέση σχετική υγρασία είναι στατιστικώς σημαντική.

Πίνακας 7.5. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομέρες ζέστης και κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα (ζέστης ή κρύου).

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες κρύου	0.906 (0.788, 1.041)	0.913 (0.800, 1.042)	0.913 (0.796, 1.047)	0.930 (0.812, 1.065)	1.018 (0.966, 1.074)
Βαθμομέρες ζέστης	1.219 * (1.023, 1.453)	1.277 * (1.068, 1.528)	1.281 * (1.063, 1.545)	1.244 * (1.031, 1.501)	1.089 * (1.011, 1.173)
Μέση ετήσια σχετική υγρασία (%)		1.015 (0.995, 1.036)	1.014 (0.993, 1.037)	1.011 (0.989, 1.033)	0.999 (0.991, 1.007)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.998 (0.978, 1.017)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.993 (0.979, 1.006)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.041 *** (1.033, 1.050)



\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

Από τον πίνακα 7.5. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικές αιτίες αυξάνεται κατά 21,9% (95% Δ.Ε: 2,3% - 45,3%). Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται στο 27,7% αν προστεθεί στο μοντέλο η υγρασία και στο 28,1% αν προστεθεί και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος. Το μοντέλο παραμένει στατιστικά σημαντικό όταν συμπεριλαμβάνεται γραμμή τάσης και έτσι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικές αιτίες αυξάνεται κατά 8,9% (95% Δ.Ε:1,1% - 17,3%), ενώ ο δείκτης γραμμικής τάσης είναι επίσης στατιστικά πολύ σημαντικός αποτυπώνοντας αύξηση 4,1% (95% Δ.Ε: 3,3% - 5%) αναπνευστικών θανάτων ανά έτος.

Πίνακας 7.6. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομημέρες ζέστης και κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμοημέρα (ζέστης ή κρύου).

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες κρύου	0.888 (0.743, 1.061)	0.897 (0.759, 1.059)	0.898 (0.755, 1.067)	0.922 (0.780, 1.090)	1.034 (0.980, 1.090)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.255 (1.003, 1.570)	1.338 * (1.066, 1.680)	1.345 * (1.060, 1.706)	1.290 (1.019, 1.633)	1.091 * (1.012, 1.177)
Μέση ετήσια σχετική υγρασία (%)		1.021 (0.995, 1.047)	1.019 (0.992, 1.047)	1.014 (0.987, 1.041)	1.000 (0.992, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.996 (0.972, 1.021)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.989 (0.972, 1.006)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.054 *** (1.045, 1.063)

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

Από τον πίνακα 7.6. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια για άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 33,8% (95% Δ.Ε: 6,6% - 68%) έχοντας ελέγξει για την μέση ετήσια σχετική υγρασία. Αν ελεγχθεί και για την μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος η επίδραση των βαθμομερών ζέστης είναι 34,5% ανά μία βαθμομέρα ζέστης αύξηση κινδύνου, ενώ είναι 9,1% (95% Δ.Ε: 1,2% - 17,7%) όταν συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο παλινδρόμησης γραμμική τάση, η οποία είναι επίσης πολύ σημαντική, αποτυπώνοντας αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών ανά έτος κατά 5,4% (95% Δ.Ε: 4,5% - 6,3%).

Στα μοντέλα που περιλαμβάνονται ταυτόχρονα οι μεταβλητές της θερμοκρασίας θερμής και ψυχρής περιόδου τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την στατιστικά σημαντική επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας στα δεδομένα θνησιμότητας με την μορφή των βαθμομερών ζέστης. Επομένως, συνοψίζοντας:

Όσον αφορά στη θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες παρατηρείται ότι για κάθε 1 βαθμομέρα ζέστης αυξάνεται η θνησιμότητα κατά 8,9% (95% Δ.Ε: 0,6%, 5,2%) ελέγχοντας για την γραμμική τάση των δεδομένων και την μέση ετήσια σχετική υγρασία. Ακόμη, για τους άνω των 75 ετών, παρατηρείται ελαφρώς μικρότερη επίδραση για το ίδιο μοντέλο και συγκεκριμένα 1,5% (95% Δ.Ε: 0,2% , 2,9%) αύξηση της θνησιμότητας από όλες της φυσικές αιτίες. Οι βαθμομέρες κρύου δεν επηρεάζουν στατιστικώς σημαντικά τη θνησιμότητα, ενώ κινούνται προς προστατευτική κατεύθυνση.

Όσον αφορά στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα, παρατηρείται ότι για κάθε 1 βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 7,4% (95% Δ.Ε: 1,6%, 13,4%), ενώ για τους άνω των 75 ετών 6,2% (95% Δ.Ε:0,5%, 12,2%).

Τέλος, τα μοντέλα της αναπνευστικής θνησιμότητας εμφανίζουν πιο χαμηλό δείκτη όταν ενσωματώνεται και η γραμμική τάση στο μοντέλο. Έτσι, φαίνεται ότι και πάλι οι βαθμομέρες ζέστης επηρεάζουν στατιστικώς σημαντικά τον αριθμό των θανάτων από αναπνευστικά αίτια. Για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικό αυξάνεται κατά 8,9% (95% Δ.Ε:1,1% - 17,3%) και στους άνω των 75 ετών κατά 9,1% (95% Δ.Ε: 1,2% - 17,7%), η μόνη περίπτωση όπου εμφανίζεται δείκτης ελαφρώς πιο αυξημένος για τους ηλικιωμένους ελέγχοντας για γραμμική τάση των δεδομένων. Οι βαθμομέρες κρύου λειτουργούν και εδώ προστατευτικά αλλά σε μη στατιστικά σημαντικό επίπεδο.



### **Αποτελέσματα αναλύσεων για εναλλακτικό ορισμό του έτους**

Τα παρακάτω αποτελέσματα αφορούν στον εναλλακτικό ορισμό του έτους, ως την χρονική περίοδο από 1 Οκτωβρίου ενός έτους έως 30 Σεπτεμβρίου του επόμενου. Η διάρθρωση των αποτελεσμάτων ακολουθεί την προηγούμενη, δηλαδή παρατίθενται τα αποτελέσματα ανά έκθεση.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων παλινδρόμησης είναι αντίστοιχη με αυτή των παραπάνω αναλύσεων. Ερμηνεύονται αναλυτικά μόνον οι στατιστικώς σημαντικοί συντελεστές παλινδρόμησης.

### **Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου**

Στους πίνακες 8.1. και 8.2. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 8.1 Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.020 (0.996, 1.045)	1.023 (0.997, 1.050)	1.023 (0.995, 1.052)	1.018 (0.994, 1.043)	1.003 (0.982, 1.024)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.001 (0.998, 1.005)	1.001 (0.997, 1.006)	1.000 (0.996, 1.003)	0.999 (0.997, 1.002)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.995, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.997 (0.994, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 ** (1.003, 1.008)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 8.1. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης, αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,3% - 0,8%) και είναι στατιστικά σημαντική.

Πίνακας 8.2. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.051 (0.991, 1.115)	1.065 (1.000, 1.133)	1.062 (0.995, 1.135)	1.049 (0.993, 1.107)	1.000 (0.984, 1.016)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.005 (0.997, 1.014)	1.004 (0.994, 1.015)	1.000 (0.993, 1.008)	0.999 (0.997, 1.001)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			0.998 (0.988, 1.009)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.992 * (0.986, 0.998)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.018 *** (1.016, 1.020)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 8.2. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των θανάτων για άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 1,8% ανά έτος (95% Δ.Ε: 1,6% - 2%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.



Στους πίνακες 8.3. και 8.4. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 8.3. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.002 (0.972, 1.032)	1.003 (0.971, 1.036)	1.002 (0.968, 1.038)	1.000 (0.967, 1.034)	1.014 (0.978, 1.051)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.000 (0.996, 1.005)	1.000 (0.995, 1.006)	1.000 (0.994, 1.005)	1.001 (0.997, 1.006)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.994, 1.005)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.998 (0.995, 1.002)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					0.997 (0.992, 1.002)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 8.3. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης.

Πίνακας 8.4. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.023 (0.989, 1.058)	1.031 (0.995, 1.068)	1.029 (0.991, 1.069)	1.019 (0.992, 1.047)	1.009 (0.974, 1.044)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.003 (0.998, 1.008)	1.003 (0.997, 1.009)	1.000 (0.996, 1.004)	1.001 (0.997, 1.006)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.999 (0.993, 1.005)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.994 ** (0.991, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 * (1.002, 1.011)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 8.4. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των καρδιαγγειακών

θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,2% - 1,1%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Στους πίνακες 8.5. και 8.6. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 8.5. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.190 *	1.232 *	1.230 *	1.189 *	1.070
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.012 (0.991, 1.034)	1.012 (0.985, 1.039)	1.002 (0.981, 1.023)	1.000 (0.993, 1.007)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.999 (0.974, 1.025)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.982 * (0.966, 0.998)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.043 *** (1.035, 1.051)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 8.5. συνάγεται ότι για κάθε 1°C αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια αυξάνεται κατά 19% (Δ.Ε: 21% - 38,6%). Αν συμπεριληφθεί και η υγρασία στο μοντέλο ο κίνδυνος θανάτου διαφοροποιείται και αυξάνεται για κάθε μία μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας κατά 23,2% (95% Δ.Ε: 4,3% - 45,4%) στατιστικώς

σημαντικά. Το ίδιο ισχύει και αν συμπεριληφθεί στο μοντέλο και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος, ενώ αν συμπεριληφθεί η μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου η επίδραση της θερμοκρασίας για κάθε μία μονάδα αύξησης είναι 19% αυξημένο κίνδυνο θανάτου από αναπνευστικά αίτια. Μάλιστα, φαίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα και στη συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου, η οποία φαίνεται να λειτουργεί προστατευτικά. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 4,3% ανά έτος (95% Δ.Ε: 3,5% - 5,1%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Πίνακας 8.6. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τη μέση θερμοκρασία της θερμής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.213 (1.002, 1.468)	1.270 * (1.031, 1.566)	1.267 (1.017, 1.578)	1.218 (1.004, 1.477)	1.066 (0.998, 1.138)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.016 (0.990, 1.043)	1.015 (0.982, 1.049)	1.004 (0.978, 1.030)	1.001 (0.994, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.997 (0.966, 1.030)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.978 (0.958, 0.998)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.055 *** (1.047, 1.063)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 8.6. συνάγεται ότι για κάθε μία μονάδα αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια για τα άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 27% (95% Δ.Ε: 3,1% - 56,6%). Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων για τα

άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 5,5% ανά έτος (95% Δ.Ε: 4,7% - 6,3%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

### **Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου**

Τα αποτελέσματα των μοντέλων που περιλαμβάνουν ως έκθεση τη μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου στον εναλλακτικό ορισμό του έτους, δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα για τον δείκτη έκθεσης.

Στους πίνακες 9.1. και 9.2. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία ψυχρής περιόδου για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 9.1 Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.011 (0.989, 1.034)	1.011 (0.989, 1.034)	1.011 (0.988, 1.035)	1.011 (0.991, 1.032)	0.996 (0.979, 1.013)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.003 (0.998, 1.008)	1.003 (0.998, 1.008)	1.002 (0.997, 1.007)	1.000 (0.997, 1.004)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			1.000 (0.996, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.997 (0.995, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 ** (1.003, 1.009)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 9.1. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των καρδιαγγειακών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,3% - 0,9%) και είναι στατιστικά σημαντική.



Πίνακας 9.2. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.041 (0.986, 1.098)	1.040 (0.987, 1.096)	1.039 (0.984, 1.096)	1.041 (0.998, 1.087)	0.993 (0.981, 1.005)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.008 (0.997, 1.020)	1.008 (0.996, 1.020)	1.005 (0.996, 1.015)	1.001 (0.998, 1.003)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			0.998 (0.989, 1.007)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.992 * (0.987, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.018 *** (1.016, 1.020)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 9.2. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των θανάτων για τα άτομα

άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 1,8% ανά έτος (95% Δ.Ε: 1,6% - 2%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Στους πίνακες 9.3. και 9.4. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία ψυχρής περιόδου για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 9.3. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	0.993 (0.967, 1.019)	0.992 (0.966, 1.020)	0.992 (0.964, 1.021)	0.992 (0.965, 1.020)	0.999 (0.969, 1.029)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.001 (0.995, 1.007)	1.001 (0.995, 1.007)	1.001 (0.994, 1.007)	1.002 (0.996, 1.009)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.995, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.999 (0.995, 1.002)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					0.998 (0.993, 1.002)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 9.3. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης.

Πίνακας 9.4. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.014 (0.983, 1.046)	1.014 (0.983, 1.045)	1.013 (0.981, 1.045)	1.014 (0.992, 1.037)	0.997 (0.969, 1.025)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.005 (0.998, 1.011)	1.004 (0.997, 1.011)	1.003 (0.998, 1.007)	1.002 (0.996, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			0.998 (0.993, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.994 ** (0.992, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 * (1.002, 1.011)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 9.4. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των καρδιαγγειακών θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της

γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,2% - 1,1%) και είναι στατιστικά σημαντική.

Στους πίνακες 9.5. και 9.6. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση την μέση ημερήσια θερμοκρασία ψυχρής περιόδου για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 9.5. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.103 (0.955, 1.273)	1.103 (0.952, 1.277)	1.100 (0.945, 1.282)	1.109 (0.973, 1.265)	0.973 (0.920, 1.030)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.014 (0.983, 1.046)	1.013 (0.980, 1.047)	1.007 (0.979, 1.036)	0.995 (0.984, 1.006)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.997 (0.974, 1.021)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.980 * (0.964, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.049 *** (1.039, 1.058)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 9.5 δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 4,9% ανά έτος (95% Δ.Ε: 3,9% - 5,8%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Πίνακας 9.6. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τη μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.127 (0.946, 1.342)	1.127 (0.944, 1.346)	1.123 (0.934, 1.351)	1.137 (0.970, 1.333)	0.968 (0.916, 1.023)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.020 (0.983, 1.059)	1.019 (0.979, 1.059)	1.012 (0.978, 1.046)	0.998 (0.987, 1.009)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m3)			0.995 (0.967, 1.024)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m3)				0.976 * (0.956, 0.996)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.060 *** (1.051, 1.069)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 9.6 δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 5,1% - 6,9%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

### **Βαθμομέρες ζέστης**

Στους πίνακες 10.1. και 10.2. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες ζέστης για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες άνω των 75 ετών.



Πίνακας 10.1. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμομέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες ζέστης	1.045 ** (1.019, 1.072)	1.053 ** (1.026, 1.080)	1.052 ** (1.024, 1.081)	1.044 ** (1.017, 1.072)	1.030 * (1.006, 1.054)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.002 (0.999, 1.005)	1.002 (0.999, 1.005)	1.001 (0.998, 1.004)	1.001 (0.998, 1.003)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.996, 1.003)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.998 (0.996, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.004 ** (1.002, 1.007)

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

Από τον πίνακα 10.1. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες αυξάνεται κατά 4,5% (95% Δ.Ε: 1,9% - 7,2%) στατιστικώς σημαντικά.. Αν συμπεριληφθεί στο μοντέλο και η σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος ο κίνδυνος για κάθε μία μονάδα αύξησης των βαθμομερών ζέστης αυξάνεται κατά 5,2% (95% Δ.Ε: 2,4% - 8,1%). Ακόμη ελέγχοντας για γραμμική

τάση και σχετική ετήσια υγρασία ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 3% (95% Δ.Ε.: 0,6%, 5,4%). Επίσης, η διαχρονική αύξηση του αριθμού των θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,4% ανά έτος (95% Δ.Ε.: 0,2% - 0,7%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Πίνακας 10.2. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμομημέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμοημέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.085 * (1.011, 1.165)	1.108 * (1.030, 1.192)	1.106 * (1.026, 1.192)	1.077 (1.004, 1.155)	1.016 (0.997, 1.036)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.006 (0.998, 1.014)	1.005 (0.995, 1.014)	1.002 (0.994, 1.010)	1.000 (0.998, 1.002)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.997 (0.988, 1.007)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.993 * (0.987, 0.999)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.017 *** (1.015, 1.019)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 10.2. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από όλες τις φυσικές αιτίες για τα άτομα των 75 ετών αυξάνεται κατά 8,5% (95% Δ.Ε: 1,1% - 16,5%). Αν συμπεριληφθεί στο μοντέλο η μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος ο κίνδυνος θανάτου αυξάνεται κατά 10,6% (95% Δ.Ε: 2,6% - 19,2%). Όταν ενσωματωθεί στο μοντέλο η γραμμή τάσης, απορροφά την επίδραση της θερμοκρασίας και δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 1,7% ανά έτος (95% Δ.Ε: 1,5% - 1,9%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Στους πίνακες 10.3. και 10.4. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες ζέστης για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 10.3. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τις βαθμομέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες ζέστης	1.017 (0.981, 1.056)	1.021 (0.981, 1.063)	1.021 (0.979, 1.065)	1.016 (0.972, 1.063)	1.047 (1.002, 1.093)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.001 (0.997, 1.006)	1.001 (0.996, 1.006)	1.000 (0.995, 1.006)	1.003 (0.999, 1.007)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.995, 1.005)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.999 (0.995, 1.003)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					0.995 (0.991, 1.000)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 10.3 παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα της επίδρασης των βαθμομερών ζέστης στους καρδιαγγειακούς θανάτους δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα.

Πίνακας 10.4. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τις βαθμομημέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομημέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.048 * (1.007, 1.090)	1.062 ** (1.021, 1.105)	1.061 * (1.019, 1.105)	1.040 * (1.007, 1.075)	1.037 (0.994, 1.082)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.004 (1.000, 1.008)	1.003 (0.998, 1.009)	1.001 (0.997, 1.005)	1.002 (0.998, 1.007)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.999 (0.994, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.995 ** (0.992, 0.998)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.005 (1.000, 1.009)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 10.4. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομημέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια για τα άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 4,8% (95% Δ.Ε: 0,7% - 9%). Αν προστεθούν στο μοντέλο η μέση ετήσια σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος τότε ο κίνδυνος για κάθε μία μονάδα αύξησης των βαθμομημερών ζέστης αυξάνεται κατά 6,1% (95% Δ.Ε: 1,9% - 10,5%). Αν προστεθεί στη

σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου, τότε ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 4% (0,7% - 7,5%). Όταν ενσωματωθεί στο μοντέλο η γραμμή τάσης, απορροφά την επίδραση της θερμοκρασίας και δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα.

Στους πίνακες 10.5. και 10.6. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες ζέστης για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 10.5. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες ζέστης	1.274 * (1.059, 1.533)	1.339 * (1.099, 1.631)	1.336 * (1.089, 1.641)	1.265 * (1.040, 1.538)	1.098 * (1.015, 1.188)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.014 (0.993, 1.036)	1.012 (0.987, 1.037)	1.004 (0.982, 1.026)	1.001 (0.993, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.995 (0.971, 1.021)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.984 (0.968, 1.001)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.042 *** (1.034, 1.050)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 10.5. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια αυξάνεται κατά 27,4% (95% Δ.Ε: 5,9% - 53,3%). Μάλιστα, αν προστεθούν στο μοντέλο η μέση σχετική υγρασία της θερμής περιόδου (%) και η μέση ετήσια συγκέντρωση αζώτου η αύξηση του κινδύνου θανάτου από αναπνευστικά αίτια για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης είναι 33,6% (95% Δ.Ε: 8,9% -

64,1%). Το αποτέλεσμα, όμως είναι χαμηλότερο αν ενσωματωθεί γραμμική τάση στο μοντέλο, διατηρώντας ωστόσο τη στατιστική σημαντικότητα. Έτσι, με την γραμμική τάση και ελέγχοντας για την υγρασία για κάθε μία βαθμομέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικές αιτίες είναι 9,8% (95% Δ.Ε: 1,5% - 18,8%), επίσης η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 4,2% ανά έτος (95% Δ.Ε: 3,4% - 5%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.



Πίνακας 10.6. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομημέρες ζέστης κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομημέρα ζέστης.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες ζέστης	1.307 * (1.035, 1.651)	1.393 * (1.085, 1.789)	1.391 * (1.073, 1.803)	1.299 (1.013, 1.666)	1.086 (1.002, 1.178)
Μέση σχετική υγρασία θερμής περιόδου (%)		1.018 (0.992, 1.045)	1.015 (0.984, 1.047)	1.005 (0.978, 1.033)	1.002 (0.994, 1.009)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.993 (0.962, 1.025)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.980 (0.959, 1.002)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.054 *** (1.046, 1.062)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Από τον πίνακα 10.6. συνάγεται ότι για κάθε μία βαθμομημέρα ζέστης ο κίνδυνος θανάτου από αναπνευστικά αίτια για τα άτομα άνω των 75 ετών αυξάνεται κατά 30,7% (95% Δ.Ε: 3,5% - 65,1%). Η επίδραση των βαθμομημερών ζέστης αυξάνεται όταν προστεθεί στο μοντέλο η μέση ετήσια σχετική υγρασία και η μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος και έτσι για κάθε μία μονάδα αύξησης των βαθμομημερών ζέστης ο κίνδυνος

θανάτου από αναπνευστικές αιτίες σε άτομα άνω των 75 ετών είναι 39,1% (95% Δ.Ε: 7,3% - 80,3%). Όταν ενσωματωθεί στο μοντέλο η γραμμική τάση, απορροφά την επίδραση της θερμοκρασίας και δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα. Επομένως, η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 5,4% ανά έτος (95% Δ.Ε: 4,6% - 6,2%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

### **Βαθμομέρες κρύου**

Τα αποτελέσματα από τα μοντέλα των βαθμομερών κρύου περιλαμβάνουν μη στατιστικά σημαντικούς δείκτες έκθεσης.

Στους πίνακες 11.1. και 11.2. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες κρύου για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από φυσικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 11.1 Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμοημέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμοημέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμοημέρες κρύου	0.989 (0.967, 1.012)	0.989 (0.967, 1.012)	0.989 (0.966, 1.013)	0.989 (0.969, 1.010)	1.004 (0.987, 1.022)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.003 (0.998, 1.008)	1.003 (0.998, 1.008)	1.002 (0.997, 1.007)	1.000 (0.997, 1.004)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.996, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.997 (0.995, 1.000)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 ** (1.003, 1.009)

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

Στον πίνακα 11.1 δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,3% - 0,9%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Πίνακας 11.2. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από όλες τις αιτίες (εκτός των εξωτερικών) (ICD 9: 1-799) από τις βαθμομημέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμοημέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες κρύου	0.961 (0.911, 1.014)	0.961 (0.913, 1.013)	0.963 (0.912, 1.016)	0.960 (0.920, 1.002)	1.007 (0.995, 1.020)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.008 (0.997, 1.020)	1.008 (0.996, 1.020)	1.005 (0.996, 1.015)	1.001 (0.998, 1.003)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.998 (0.989, 1.007)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.992 * (0.987, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.018 *** (1.016, 1.020)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 11.2 δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετώνόπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 1,8% ανά έτος (95% Δ.Ε: 1,6% - 2%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Στους πίνακες 11.3. και 11.4. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες κρύου για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 11.3. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τις βαθμομέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες κρύου	1.008 (0.981, 1.035)	1.008 (0.981, 1.035)	1.008 (0.980, 1.037)	1.008 (0.980, 1.036)	1.001 (0.972, 1.032)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.001 (0.995, 1.007)	1.001 (0.995, 1.007)	1.001 (0.994, 1.007)	1.002 (0.996, 1.009)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			1.000 (0.995, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.999 (0.995, 1.002)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					0.998 (0.993, 1.002)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 11.3. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης.

Πίνακας 11.4. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από καρδιαγγειακά αίτια (ICD 9: 390-459) από τις βαθμοημέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμοημέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμοημέρες κρύου	0.986 (0.956, 1.017)	0.986 (0.957, 1.017)	0.987 (0.957, 1.019)	0.986 (0.964, 1.008)	1.003 (0.975, 1.032)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.005 (0.998, 1.011)	1.004 (0.997, 1.011)	1.003 (0.998, 1.007)	1.002 (0.996, 1.008)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.998 (0.993, 1.004)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.994 ** (0.992, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.006 * (1.002, 1.011)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 11.4. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των καρδιαγγειακών

θανάτων για τα άτομα άνω των 75 ετών όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 0,6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 0,2% - 1,1%) και είναι στατιστικά σημαντική.

Στους πίνακες 11.5. και 11.6. φαίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν με έκθεση τις βαθμομέρες κρύου για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες και διαφορετικά για όλους τους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες άνω των 75 ετών.

Πίνακας 11.5. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμομέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομέρες κρύου	0.907 (0.786, 1.048)	0.907 (0.784, 1.051)	0.909 (0.780, 1.059)	0.902 (0.791, 1.028)	1.027 (0.971, 1.087)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.014 (0.983, 1.046)	1.013 (0.980, 1.047)	1.007 (0.979, 1.036)	0.995 (0.984, 1.006)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.997 (0.974, 1.021)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.980 * (0.964, 0.997)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.049 *** (1.039, 1.058)

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

Στον πίνακα 11.5. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 4,9% ανά έτος (95% Δ.Ε: 3,9% - 5,8%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.



Πίνακας 11.6. Εξάρτηση του ετήσιου αριθμού θανάτων ατόμων άνω των 75 ετών (1992 – 2010) από αναπνευστικά αίτια (ICD 9: 460-519) από τις βαθμομημέρες κρύου κάθε έτους και άλλους δυνητικά συγχυτικούς παράγοντες: αποτελέσματα γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson με διόρθωση για υπερδιασπορά μέσω ημιπιθανοφάνειας (quasi-likelihood), σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1 βαθμοημέρα κρύου.

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4	Μοντέλο 5
Ανεξάρτητες μεταβλητές	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Βαθμομημέρες κρύου	0.888 (0.745, 1.058)	0.888 (0.743, 1.060)	0.891 (0.741, 1.071)	0.880 (0.750, 1.031)	1.033 (0.977, 1.092)
Μέση σχετική υγρασία ψυχρής περιόδου (%)		1.020 (0.983, 1.059)	1.019 (0.979, 1.059)	1.012 (0.978, 1.046)	0.998 (0.987, 1.009)
Μέση ετήσια συγκέντρωση όζοντος (μg/m <sup>3</sup> )			0.995 (0.967, 1.024)		
Μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου αζώτου (μg/m <sup>3</sup> )				0.976 * (0.956, 0.996)	
Γραμμική τάση (1992:1 ... 2010:19)					1.060 *** (1.051, 1.069)

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05.

Στον πίνακα 11.6. δεν παρατηρείται κάποιο στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στους δείκτες έκθεσης. Αντίθετα η διαχρονική αύξηση του αριθμού των αναπνευστικών θανάτων όπως αποτυπώνεται με την μεταβλητή της γραμμικής τάσης είναι 6% ανά έτος (95% Δ.Ε: 5,1% - 6,9%) και είναι στατιστικά πολύ σημαντική.

Να σημειωθεί ότι όταν ενσωματώνεται στο μοντέλο ο δείκτης για γραμμική τάση, τότε η επίδραση των βαθμομερών κρύου κινούνται προς την αναμενόμενη κατεύθυνση, δηλαδή φαίνεται να λειτουργούν επιβαρυντικά, χωρίς ωστόσο να επιτυγχάνεται στατιστική σημαντικότητα.

## Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μοντέλων

### A) Ημερολογιακού έτους

Πίνακας 12.1. Συνοπτικά αποτελέσματα των μοντέλων με κάθε δείκτη έκθεσης εναλλακτικά και με έλεγχο της γραμμικής τάσης και για τα επίπεδα της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας (Μοντέλο A) και με έλεγχο για μέση ετήσια σχετική υγρασία και συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου (Μοντέλο B) με έκβαση τη συνολική θνησιμότητα και τη θνησιμότητα άνω των 75 ετών (Σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C ή ανά μία βαθμομέρα ζέστης ή κρύου).

Δείκτες έκθεσης	Θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες		Θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες > 75 ετών	
	Μοντέλο			
	Μοντέλο A** RR (95% Δ.Ε.)	B+RR (95% Δ.Ε.)	Μοντέλο A** RR (95% Δ.Ε.)	Μοντέλο B+ RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.004 (0.986, 1.022)	<b>1.028*</b> <b>(1.005, 1.051)</b>	1.002 (0.992, 1.013)	<b>1.076* (1.020, 1.136)</b>
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.004 (0.986, 1.023)	<b>1.027*</b> <b>(1.004, 1.050)</b>	1.00 (0.989, 1.011)	<b>1.071* (1.016, 1.130)</b>
Βαθμομέρες ζέστης	<b>1.027* (1.005, 1.049)</b>	<b>1.053 (1.029, 1.078)</b>	<b>1.013* (1.00, 1.026)</b>	<b>1.118* (1.045, 1.195)</b>
Βαθμομέρες κρύου	0.996 (0.978, 1.014)	0.974 (0.953, 0.995)	1.00 (0.989, 1.011)	<b>0.933* (0.885, 0.984)</b>

\*  $p < 0.05$

\*\* με έλεγχο της γραμμικής τάσης και της μέσης ετήσια σχετικής υγρασίας

+ με έλεγχο της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας και της συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου

Από τον πίνακα 12.1. παρατηρείται ότι στο μοντέλο A με τον έλεγχο για γραμμική τάση μόνο οι βαθμομέρες ζέστης ως δείκτης έκθεσης έχουν στατιστικώς σημαντική επίδραση στη θνησιμότητα τόσο για όλες τις ηλικίες όσο και για τα άτομα άνω των 75 ετών. Στο μοντέλο B, χωρίς δηλαδή έλεγχο για γραμμική τάση, παρατηρείται στατιστικώς

σημαντική επίδραση της μέσης θερμοκρασίας θερμής, ψυχρής περιόδου και των βαθμομερών ζέστης τόσο για όλες τις ηλικίες όσο και για τα άτομα άνω των 75 ετών.

Πίνακας 12.2. Συνοπτικά αποτελέσματα μοντέλου με έλεγχο για γραμμής τάσης και για τα επίπεδα της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας (Μοντέλο Α) και με έλεγχο για μέση ετήσια σχετική υγρασία και συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου (Μοντέλο Β) ως προς την κάθε έκθεση με έκβαση τη καρδιαγγειακή θνησιμότητα και την καρδιαγγειακή θνησιμότητα άνω των 75 ετών (Σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C ή ανά μία βαθμομέρα ζέστης ή κρύου).

Δείκτες έκθεσης	Καρδιαγγειακή Θνησιμότητα		Καρδιαγγειακή Θνησιμότητα > 75 ετών	
	Μοντέλο Α** RR (95% Δ.Ε.)	Μοντέλο Β+ RR (95% Δ.Ε.)	Μοντέλο Α** RR (95% Δ.Ε.)	Μοντέλο Β+ RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	<b>1.043* (1.001, 1.087)</b>	1.029 (0.995, 1.065)	1.039 (0.998, 1.082)	<b>1.064* (1.025, 1.104)</b>
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	1.019 (0.975, 1.065)	1.011 (0.976, 1.048)	1.016 (0.975, 1.060)	<b>1.045* (1.004, 1.087)</b>
Βαθμομέρες ζέστης	<b>1.069* (1.013, 1.129)</b>	1.043 (0.997, 1.090)	<b>1.058* (1.002, 1.117)</b>	<b>1.091** (1.040, 1.144)</b>
Βαθμομέρες κρύου	0.982 (0.939, 1.026)	0.989 (0.955, 1.024)	0.984 (0.943, 1.026)	<b>0.957* (0.920, 0.996)</b>

\* p < 0.05, \*\* p < 0.01

\*\* με έλεγχο της γραμμικής τάσης και της μέσης ετήσια σχετικής υγρασίας

+ με έλεγχο της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας και της συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου

Από τον πίνακα 12.2. παρατηρείται ότι με έλεγχο για γραμμική τάση (Μοντέλο Α) οι επιδράσεις της ζέστης επηρεάζουν στατιστικώς σημαντικά την καρδιαγγειακή θνησιμότητα είτε ως μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου είτε ως βαθμομέρες ζέστης, ενώ μόνο ως βαθμομέρες ζέστης επηρεάζουν στατιστικώς σημαντικά την καρδιαγγειακή θνησιμότητα άνω των 75 ετών. Όσον αφορά στο μοντέλο Β, δηλαδή χωρίς έλεγχο για

γραμμική τάση παρατηρείται ότι μόνο για τα άτομα άνω των 75 ετών υπάρχει στατιστικώς σημαντική επίδραση της θερμοκρασίας τόσο του κρύου όσο και της ζέστης.

Πίνακας 12.3. Συνοπτικά αποτελέσματα μοντέλου με έλεγχο για γραμμής τάσης και για τα επίπεδα της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας (Μοντέλο Α) και με έλεγχο για μέση ετήσια σχετική υγρασία και συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου (Μοντέλο Β) ως προς την κάθε έκθεση με έκβαση τη συνολική θνησιμότητα και την αναπνευστική θνησιμότητα άνω των 75 ετών (Σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C ή ανά μία βαθμομέρα ζέστης ή κρύου).

Δείκτες έκθεσης	Αναπνευστική Θνησιμότητα		Αναπνευστική Θνησιμότητα > 75 ετών	
	Μοντέλο Α**	Μοντέλο Β <sup>+</sup>	Μοντέλο Α**	Μοντέλο Β <sup>+</sup>
	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία		<b>1.231*</b>	1.048 (0.984,	<b>1.280* (1.068,</b>
θερμής περιόδου	1.050 (0.990, 1.114)	<b>(1.068, 1.419)</b>	1.116)	<b>1.535)</b>
Μέση θερμοκρασία		<b>1.187*</b>	0.980 (0.924,	<b>1.222* (1.021,</b>
ψυχρής περιόδου	0.996 (0.940, 1.055)	<b>(1.028, 1.371)</b>	1.039)	<b>1.463)</b>
		<b>1.354*</b>	<b>1.088* (1.009,</b>	<b>1.432** (1.147,</b>
Βαθμομέρες ζέστης	<b>1.091* (1.015, 1.172)</b>	<b>(1.138, 1.612)</b>	<b>1.174)</b>	<b>1.788)</b>
		<b>0.842*</b>	1.020 (0.962,	<b>0.818* (0.683,</b>
Βαθμομέρες κρύου	1.004 (0.948, 1.064)	<b>(0.729, 0.973)</b>	1.082)	<b>0.980)</b>

\* p < 0.05, \*\* p < 0.01

\*\* με έλεγχο της γραμμικής τάσης και της μέσης ετήσια σχετικής υγρασίας

+ με έλεγχο της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας και της συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου

Από τον πίνακα 12.3. συνάγεται ότι στο μοντέλο με έλεγχο για γραμμική τάση (Μοντέλο Α) υπάρχει στατιστικώς σημαντική επίδραση των βαθμομερών ζέστης στην αναπνευστική θνησιμότητα τόσο για όλες τις ηλικίες όσο και για άνω των 75 ετών. Στο μοντέλο χωρίς έλεγχο για γραμμική τάση τα αποτελέσματα είναι όλα στατιστικώς σημαντικά. Σε αυτή την περίπτωση οι βαθμομέρες κρύου κινούνται προς την αναμενόμενη (επιβαρυντική κατεύθυνση) χωρίς ωστόσο να επιτυγχάνεται στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα στο μοντέλο Α. Στο μοντέλο Β υπάρχει στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα, το οποίο υποδεικνύει προστατευτική επίδραση, λόγω της συγχυτικής επίδρασης της διαχρονικής τάσης των δεδομένων.

**Συνοπτική παρουσίαση μοντέλων με ταυτόχρονη εισαγωγή των βαθμομερών κρύου και ζέστης ως ανεξαρτήτων μεταβλητών**

Πίνακας 12.4. Συνοπτικά αποτελέσματα μοντέλου με έλεγχο για γραμμής τάσης και για τα επίπεδα της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας ως προς τις βαθμομέρες ζέστης και κρύου και την κάθε έκβαση (Σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C ή ανά μία βαθμομέρα ζέστης ή κρύου).

Δείκτες έκθεσης	Θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες	Θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες >75 ετών		Καρδιαγγειακή θνησιμότητα > 75 ετών		Αναπνευστική θνησιμότητα > 75 ετών
		Καρδιαγγειακή θνησιμότητα	Καρδιαγγειακή θνησιμότητα	Αναπνευστική θνησιμότητα	Αναπνευστική θνησιμότητα	
<b>Βαθμομέρες ζέστης</b>	<b>1.029*</b> (1.006, 1.052)	<b>1.015*</b> (1.002, 1.029)	<b>1.074*</b> (1.016, 1.134)	<b>1.062*</b> (1.005, 1.122)	<b>1.089*</b> (1.011, 1.173)	<b>1.091*</b> (1.012, 1.177)
<b>Βαθμομέρες κρύου</b>	1.001 (0.985, 1.017)	1.003 (0.993, 1.013)	0.991 (0.952, 1.031)	0.992 (0.953, 1.032)	1.018 (0.966, 1.074)	1.034 (0.980, 1.090)

Από τον πίνακα 12.4. συνάγεται ότι όταν στο μοντέλο παλινδρόμησης εισάγονται ταυτόχρονα και οι βαθμομέρες ζέστης και οι βαθμομέρες κρύου με έλεγχο για γραμμική τάση και για τα επίπεδα της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας είναι στατιστικώς σημαντική η επίδραση μόνο για τις βαθμομέρες ζέστης στην κάθε έκβαση. Η επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας με δείκτη έκθεσης της βαθμομέρες ζέστης στο μοντέλο φαίνεται να είναι μεγαλύτερη για τα άτομα άνω των 75 ετών μόνο στην περίπτωση της αναπνευστικής θνησιμότητας, ενώ δεν είναι για την καρδιαγγειακή και την θνησιμότητα.

## B) Εναλλακτικός ορισμός έτους (1/10 – 30/9)

Πίνακας 13.1. Συνοπτικά αποτελέσματα μοντέλου με έλεγχο για γραμμής τάσης και για τα επίπεδα της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας (Μοντέλο Α) και με έλεγχο για μέση ετήσια σχετική υγρασία και συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου (Μοντέλο Β) ως προς την κάθε έκθεση με έκβαση τη συνολική θνησιμότητα και τη θνησιμότητα άνω των 75 ετών (Σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C ή ανά μία βαθμομέρα ζέστης ή κρύου).

Δείκτες έκθεσης	Θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες		Θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες > 75 ετών	
	Μοντέλο Α**	Μοντέλο Β <sup>+</sup>	Μοντέλο Α**	Μοντέλο Β <sup>+</sup>
	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου	1.003 (0.982, 1.024)	1.023 (0.995, 1.052)	1.00 (0.984, 1.016)	1.062 (0.995, 1.135)
Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου	0.996 (0.979, 1.013)	1.011 (0.988, 1.035)	0.993 (0.981, 1.005)	1.039 (0.984, 1.096)
Βαθμομέρες ζέστης	<b>1.030* (1.006, 1.054)</b>	<b>1.052* (1.024, 1.081)</b>	1.016 (0.997, 1.036)	<b>1.106* (1.026, 1.192)</b>
Βαθμομέρες κρύου	1.004 (0.987, 1.022)	0.989 (0.966, 1.013)	1.007 (0.995, 1.020)	0.963 (0.912, 1.016)

\* p < 0.05

\*\* με έλεγχο της γραμμικής τάσης και της μέσης ετήσια σχετικής υγρασίας

+ με έλεγχο της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας και της συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου

Από τον πίνακα 13.1. παρατηρείται ότι μόνο οι βαθμομέρες ζέστης έχουν στατιστικώς σημαντική επίδραση στην θνησιμότητα για όλες τις ηλικίες είτε με είτε χωρίς έλεγχο για γραμμική τάση. Ωστόσο, για τους άνω των 75 ετών, μόνο χωρίς γραμμή τάσης υπάρχει στατιστικώς σημαντική επίδραση των βαθμομερών ζέστης στην θνησιμότητα, ενώ με γραμμή τάσης απορροφάται η επίδραση και δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα.

Πίνακας 13.2. Συνοπτικά αποτελέσματα μοντέλου με έλεγχο για γραμμής τάσης και για τα επίπεδα της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας (Μοντέλο Α) και με έλεγχο για μέση ετήσια σχετική υγρασία και συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου (Μοντέλο Β) ως προς την κάθε έκθεση με έκβαση τη καρδιαγγειακή θνησιμότητα και την καρδιαγγειακή θνησιμότητα άνω των 75 ετών (Σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C ή ανά μία βαθμομέρα ζέστης ή κρύου).

Δείκτες έκθεσης	Καρδιαγγειακή Θνησιμότητα		Καρδιαγγειακή Θνησιμότητα > 75 ετών	
	Μοντέλο Α**	Μοντέλο Β <sup>+</sup>	Μοντέλο Α**	Μοντέλο Β <sup>+</sup>
	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
<b>Μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου</b>	1.014 (0.978, 1.051)	1.002 (0.968, 1.038)	1.009 (0.974, 1.044)	1.029 (0.991, 1.069)
<b>Μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου</b>	0.999 (0.969, 1.029)	0.992 (0.964, 1.021)	0.997 (0.969, 1.025)	1.013 (0.981, 1.045)
<b>Βαθμομέρες ζέστης</b>	<b>1.047 (1.002, 1.093)</b>	1.021 (0.979, 1.065)	1.037 (0.994, 1.082)	<b>1.061* (1.019, 1.105)</b>
<b>Βαθμομέρες κρύου</b>	1.001 (0.972, 1.032)	1.008 (0.980, 1.037)	1.003 (0.975, 1.032)	0.987 (0.957, 1.019)

\* p < 0.05

\*\* με έλεγχο της γραμμικής τάσης και της μέσης ετήσια σχετικής υγρασίας

+ με έλεγχο της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας και της συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου

Από τον πίνακα 13.2. μόνο οι βαθμομέρες ζέστης με έλεγχο για γραμμική τάση έχουν στατιστικώς σημαντική επίδραση στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα όλων των ηλικιών, ενώ για τους άνω των 75 ετών μόνο οι βαθμομέρες ζέστης χωρίς έλεγχο για γραμμική τάση επιφέρουν στατιστικώς σημαντική επίδραση στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα για άτομα άνω των 75 ετών. Σ



Πίνακας 13.3. Συνοπτικά αποτελέσματα μοντέλου με έλεγχο για γραμμής τάσης και για τα επίπεδα της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας (Μοντέλο Α) και με έλεγχο για μέση ετήσια σχετική υγρασία και συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου (Μοντέλο Β) ως προς την κάθε έκθεση με έκβαση τη συνολική θνησιμότητα και την αναπνευστική θνησιμότητα άνω των 75 ετών (Σχετικός κίνδυνος (RR) ανά 1° C ή ανά μία βαθμοημέρα ζέστης ή κρύου).

Δείκτες έκθεσης	Αναπνευστική Θνησιμότητα		Αναπνευστική Θνησιμότητα > 75 ετών	
	Μοντέλο Α**	Μοντέλο Β <sup>+</sup>	Μοντέλο Α**	Μοντέλο Β <sup>+</sup>
	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)	RR (95% Δ.Ε.)
<b>Μέση θερμοκρασία</b>		<b>1.230*</b>	1.066 (0.998,	<b>1.267* (1.017,</b>
<b>θερμής περιόδου</b>	<b>1.070* (1.003, 1.140)</b>	<b>(1.033, 1.465)</b>	1.138)	<b>1.578)</b>
<b>Μέση θερμοκρασία</b>		1.1 (0.945,	0.968 (0.916,	1.123 (0.934,
<b>ψυχρής περιόδου</b>	0.973 (0.920, 1.030)	1.282)	1.023)	1.351)
<b>Βαθμοημέρες ζέστης</b>	<b>1.098* (1.015, 1.188)</b>	<b>1.336*</b>	<b>1.086* (1.002,</b>	<b>1.391* (1.073,</b>
		<b>(1.089, 1.641)</b>	<b>1.178)</b>	<b>1.803)</b>
<b>Βαθμοημέρες κρύου</b>	1.027 (0.971, 1.087)	0.909 (0.780,	1.033 (0.977,	0.891 (0.741,
		1.059)	1.092)	1.071)

\* p < 0.05

\*\* με έλεγχο της γραμμικής τάσης και της μέσης ετήσια σχετικής υγρασίας

+ με έλεγχο της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας και της συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου

Από τον πίνακα 13.3. συνάγεται ότι η επίδραση της ζέστης στην αναπνευστική θνησιμότητα όλων των ηλικιών είτε ως βαθμοημέρες ζέστης είτε ως μέση θερμοκρασία θερμής περιόδου είναι στατιστικώς σημαντική είτε με είτε χωρίς την γραμμή τάσης. Για τα άτομα άνω των 75 ετών είναι στατιστικώς σημαντική η επίδραση των βαθμοημερών ζέστης και με και χωρίς την γραμμή τάσης, ενώ ως δείκτης μέσης θερμοκρασίας θερμής περιόδου παρατηρείται στατιστικώς σημαντική αύξηση μόνο στο μοντέλο χωρίς έλεγχο για γραμμική τάση. Να παρατηρηθεί επίσης ότι το μέγεθος της επίδρασης είναι μικρότερο

στο μοντέλο με έλεγχο για γραμμική τάση σε σύγκριση με το μοντέλο χωρίς έλεγχο για γραμμική τάση.

Επίσης, σε όλα τα παραπάνω μοντέλα παρατηρείται ότι στους ηλικιωμένους με έλεγχο για γραμμική τάση το μέγεθος επίδρασης του δείκτη έκθεσης στην εκάστοτε έκβαση δεν είναι μεγαλύτερο, αντιθέτως συχνά είναι μικρότερο, ενώ χωρίς έλεγχο για γραμμική τάση το μέγεθος επίδρασης είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτερο για τους ηλικιωμένους, επομένως λειτουργεί συγχυτικά η γραμμική τάση.

Τέλος, παρατηρείται ότι στον εναλλακτικό ορισμό του έτους στο μοντέλο Α οι βαθμοήμερες κρύου κινούνται προς την αναμενόμενη κατεύθυνση όσον αφορά στην επίδρασή τους στις επιμέρους εκβάσεις (θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες, καρδιαγγειακή, αναπνευστική), ωστόσο δεν επιτυγχάνεται στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παραπάνω εργασία επιχειρήθηκε η διερεύνηση των επιδράσεων των ετήσιων δεικτών θερμοκρασίας στην ετήσια θνησιμότητα χρησιμοποιώντας ως δείκτες έκθεσης τη μέση θερμοκρασία ανά εποχή και τις βαθμοημέρες ζέστης και κρύου. Η μεθοδολογία αυτή είναι όμοια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε σε άλλες τρεις ερευνητικές εργασίες, των Armstrong et al (2017), Goggins et al (2015) και Rehill et al (2015) και σε συνδυασμό με τον ορισμό του έτους με εναλλακτικό τρόπο, χρησιμοποιείται με στόχο να φανεί με καλύτερο τρόπο η επίδραση της μετατόπισης της θνησιμότητας («harvesting effect»), καθώς φαίνεται ότι ο μέση τιμή της εξαμηνιαίας θερμής ή ψυχρής περιόδου ενός έτους επηρεάζει στατιστικώς σημαντικά τη θνησιμότητα πέρα από το εξάμηνο έκθεσης σε επίπεδο έτους (Armstrong et al., 2017).

Στην παρούσα μελέτη εντοπίζεται στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ υψηλής θερμοκρασίας υπό μορφή βαθμοημερών ζέστης και θνησιμότητας σε επίπεδο έτους με βάση τον ημερολογιακό ορισμό του έτους μετά από έλεγχο για την γραμμική τάση των δεδομένων και για μέση ετήσια σχετική υγρασία. Όταν χρησιμοποιείται εναλλακτικά η μέση θερμοκρασίας θερμής περιόδου και με τον ημερολογιακό ορισμό του έτους, στο αντίστοιχο μοντέλο με έλεγχο γραμμικής τάσης και μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας, μόνο στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα υπάρχει στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα.

Στον ημερολογιακό ορισμό του έτους η μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου και οι βαθμοημέρες κρύου με έλεγχο γραμμικής τάσης και μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας δεν εμφανίζουν στατιστικώς σημαντική επίδραση στην ετήσια θνησιμότητα. Οι δείκτες μέσης θερμοκρασίας ψυχρής περιόδου κινούνται προς την αναμενόμενη κατεύθυνση στα μοντέλα με επίδραση στην καρδιαγγειακή και την θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες, ενώ στην αναπνευστική φαίνεται να λειτουργούν προστατευτικά. Οι βαθμοημέρες κρύου το αντίστροφο, δηλαδή μόνο στην αναπνευστική θνησιμότητα φαίνεται να είναι προς την αναμενόμενη κατεύθυνση, χωρίς στατιστική σημαντικότητα στο μοντέλο με γραμμική τάση και έλεγχο για υγρασία.

Η επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας που παρατηρείται στη μελέτη ακόμη και μετά τον έλεγχο για διαχρονική τάση επιτρέπει να διεξαχθεί το συμπέρασμα ότι εμμέσως

φαίνεται ότι δεν πεθαίνουν μόνο άτομα τα οποία ανήκουν σε ιδιαίτερα ευάλωτες ομάδες και ούτως ή άλλως θα πέθαιναν σε σύντομο χρονικό διάστημα, αλλά μετατοπίζεται σημαντικά η θνησιμότητα ατόμων, που χωρίς την έκθεση θα ζούσαν για αρκετά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, πέραν του οριζόμενου από τις μελέτες βραχυπρόθεσμων επιδράσεων, κάτι που επιβεβαιώνεται και σε άλλες μελέτες μακροπρόθεσμων επιδράσεων.

Με βάση τον ημερολογιακό ορισμό του έτους, χωρίς την γραμμή τάσης τα αποτελέσματα υποδεικνύουν επίσης επιβαρυντική επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας είτε με τη μορφή των βαθμοημερών ζέστης είτε με τη μορφή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας θερμής περιόδου στη θνησιμότητα στα μοντέλα με έλεγχο για μέση ετήσια σχετική υγρασία και μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου. Το ίδιο και στην αναπνευστική θνησιμότητα. Μόνο όταν διερευνώνται οι επιδράσεις στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση των βαθμοημερών ζέστης και όχι της μέσης θερμοκρασίας θερμής περιόδου, η οποία ήταν σημαντική μόνο για τους άνω των 75 ετών. Ωστόσο τα παραπάνω μοντέλα επηρεάζονται σημαντικά από την γραμμική τάση, η οποία σε όλα τα μοντέλα πλην της έκβασης των καρδιαγγειακών θανάτων σχετίζεται με τη θνησιμότητα σε βαθμό στατιστικά σημαντικό. Ακόμη, παρατηρείται ότι με βάση τη μέση θερμοκρασία ψυχρής περιόδου στο μοντέλο με έλεγχο για μέση ετήσια σχετική υγρασία και μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου επηρεάζεται στατιστικώς σημαντικά η συνολική θνησιμότητα, η αναπνευστική θνησιμότητα και η καρδιαγγειακή θνησιμότητα, αλλά μόνο για τα άτομα άνω των 75 ετών. Αυτά όμως χωρίς να έχει γίνει έλεγχος για γραμμική τάση. Όταν εισέρχεται στο μοντέλο η γραμμική τάση, όπως φάνηκε τα αποτελέσματα είναι μη στατιστικώς σημαντικά για το κρύο.

Αξίζει να παρατηρηθεί ότι η γραμμή τάσης επηρεάζει και τα αποτελέσματα για τους ηλικιωμένους > 75 ετών. Συγκεκριμένα όταν δεν εισάγεται η γραμμή τάσης, παρατηρείται μεγαλύτερη επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας θερμής περιόδου στην θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες, στην καρδιαγγειακή και στην αναπνευστική θνησιμότητα. Ωστόσο, όταν εισάγεται στο μοντέλο η γραμμική τάση οι δείκτες είναι παρόμοιοι με τους δείκτες για όλες τις ηλικίες. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο δείκτης γραμμικής τάσης έχει στατιστικά σημαντική σχέση με τη θνησιμότητα υποδηλώνει τη συγχυτική επίδραση της διαχρονικής τάσης στα δεδομένα. Σχετικά να αναφερθεί ότι

στο μοντέλο του ημερολογιακού ορισμού του έτους με έλεγχο για μέση ετήσια σχετική υγρασία και γραμμική τάση μόνον οι βαθμοημέρες ζέστης είχαν στατιστικώς σημαντική σχέση με τη θνησιμότητα σε όλες τις εκβάσεις. Επίσης, παρατηρείται ότι συγκριτικά και με τους δείκτες για όλες τις ηλικίες, οι δείκτες για τους >75 ετών είναι ελαφρώς χαμηλότεροι και όχι υψηλότεροι, όπως θα ανέμενε κανείς με βάση την βιβλιογραφία για τους θανάτους ηλικιωμένων ατόμων.

Όταν εισάγονται στο ίδιο μοντέλο ως ανεξάρτητες μεταβλητές ταυτόχρονα οι βαθμοημέρες ζέστης και κρύου παρατηρείται ότι μόνο οι βαθμοημέρες ζέστης έχουν στατιστικά σημαντική επίδραση σε όλες τις εκβάσεις. Και εδώ οι δείκτες για τα άτομα άνω των 75 ετών είναι ελαφρώς μικρότεροι και όχι μεγαλύτεροι ποσοτικά, όσον αφορά στο μοντέλο όπου γίνεται έλεγχος για την γραμμική τάση. Χωρίς τον έλεγχο για την γραμμική τάση, στο μοντέλο στο οποίο συμπεριλαμβάνονται οι βαθμοημέρες ζέστης με την υγρασία και το διοξείδιο του αζώτου και πάλι είναι στατιστικώς σημαντικές οι επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας για όλες τις εκβάσεις πλην των καρδιαγγειακών θανάτων. Σε αυτή την περίπτωση φαίνεται να είναι μεγαλύτερες οι επιδράσεις για τους άνω των 75 ετών, ωστόσο επηρεάζεται το αποτέλεσμα από την γραμμική τάση. Μάλιστα στο ίδιο μοντέλο της συνδυαστικής ανάλυσης είναι η μόνη περίπτωση που η υγρασία εμφανίζει στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα μαζί με την υψηλή θερμοκρασία, κάτι που επιβεβαιώνεται και βιβλιογραφικά, καθώς έχει φανεί ότι σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υψηλού ποσοστού υγρασίας επηρεάζεται η καρδιαγγειακή θνησιμότητα για τους άνω των 75 ετών στατιστικώς σημαντικά.

Ακόμη, αξίζει να παρατηρηθεί ότι τα αποτελέσματα διαφέρουν μεταξύ του ημερολογιακού ορισμού του έτους και του εναλλακτικού ορισμού του έτους (Οκτώβριος – Σεπτέμβριος) της επόμενης χρονιάς. Αυτό επιβεβαιώνει την βιβλιογραφική παρατήρηση ότι αναλόγως του ορισμού της περιόδου μελέτης αλλάζει και η επίδραση της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα (Goggins et al. 2015).

Στους περισσότερους δείκτες έκθεσης του εναλλακτικού ορισμού του έτους η επίδραση στη θνησιμότητα ήταν χαμηλότερη και μη σημαντική στατιστικώς όταν αυτή αφορούσε σε μέση ετήσια θερμοκρασία θερμής περιόδου και ψυχρής περιόδου. Στις βαθμοημέρες ζέστης υπάρχουν αποκλίσεις ως προς το μέγεθος επίδρασης, το οποίο

φαίνεται να είναι μεγαλύτερο στον ημερολογιακό ορισμό του έτους για την καρδιαγγειακή θνησιμότητα και μικρότερο για τη θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες και την αναπνευστική θνησιμότητα από ότι τα αντίστοιχα στον εναλλακτικό ορισμό του έτους.

Όσον αφορά στις βαθμολογίες κρύου του εναλλακτικού ορισμού του έτους, παρατηρείται ότι στα μοντέλα δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική σχέση κάποιου δείκτη έκθεσης με τη θνησιμότητα.

Τέλος, δεν βρέθηκε κάποια στατιστικώς σημαντική επίδραση των ατμοσφαιρικών ρύπων και της θνησιμότητας προς την αναμενόμενη κατεύθυνση. Βρέθηκε όμως μία φαινομενικά προστατευτική επίδραση της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου, η οποία σε κάποια μοντέλα ήταν στατιστικώς σημαντική. Το παρόν εύρημα χρήζει περαιτέρω μελέτης.

Συμπερασματικά, στην Αθήνα τεκμηριώνονται οι επιδράσεις της υψηλής ετήσιας θερμοκρασίας στην ετήσια θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες, στην καρδιαγγειακή και στην αναπνευστική θνησιμότητα. Οι δείκτες που προέκυψαν από την μελέτη είναι ελαφρώς μεγαλύτεροι ποσοτικά από αντίστοιχους στην βιβλιογραφία. Προτείνεται να επιχειρηθούν και άλλες ερευνητικές προσπάθειες με περισσότερα δεδομένα για σύγκριση.

### **Περιορισμοί.**

Ο βασικότερος περιορισμός της μελέτης είναι το μεθοδολογικό πρόβλημα, του ότι δεν καταφέραμε να ελέγξουμε την διαχρονική τάση των δεδομένων, η οποία φάνηκε ότι επηρέασε σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα μπορεί να γίνει προτυποποίηση της θνησιμότητας κατά ηλικία, ώστε να μην εμφανίζει διαχρονική γραμμική τάση η εξαρτημένη μεταβλητή.

Ακόμη, δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για περισσότερα έτη. Το σύνολο των ετών στην βασική ανάλυση (ημερολογιακού έτους) είναι 19 (1992 – 2010), ενώ στην εναλλακτική 18 (1993 – 2010). Δεδομένου του ότι το πλήθος επομένως των παρατηρήσεων προς ανάλυση είναι μόνο 19, αυτό περιορίζει σε έναν βαθμό την ισχύ της μελέτης και την δυνατότητά της να επιτύχει στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα. Επιπλέον, τα δεδομένα αφορούν στην περίοδο μέχρι το 2010. Από τότε έχει φανεί από

πολλές μελέτες ότι η θερμοκρασία του πλανήτη σταδιακά αυξάνεται και τα καιρικά φαινόμενα γίνονται όλο και πιο ακραία λόγω της κλιματικής αλλαγής. Επίσης, να σημειωθεί ότι δεν έγιναν και αναλύσεις για θανάτους ανά φύλο.

Ένας ακόμη περιορισμός είναι ότι η μελέτη αφορά στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην Αθήνα και δεν αφορά και άλλες χώρες, ώστε να υπάρχει μία πιο σφαιρική εικόνα. Άλλωστε όπως έχει αναφερθεί πολλές φορές τα αποτελέσματα διαφέρουν από χώρα σε χώρα και ιδιαίτερα μεταξύ διαφορετικών ζωνών κλίματος (π.χ. κλίμα Βόρειας Ευρώπης με Μεσογειακό). Τυπικό παράδειγμα, είναι ότι τα αποτελέσματα της μελέτης στο Λονδίνο (Rehill et al., 2015) για την επίδραση της ζέστης υπό μορφή βαθμοημερών στην ετήσια θνησιμότητα δεν ήταν σημαντικά, ενώ των βαθμοημερών κρύου ήταν. Αντίθετα, στην Αθήνα φάνηκε το αντίστροφο, ότι δηλαδή δεν φάνηκε να επηρεάζει αρνητικά το κρύο, λόγω του ότι γινόταν ανίχνευση της επίδρασης της ζέστης, ενώ οι βαθμοημέρες ζέστης φάνηκε καθαρά ότι φαίνεται να επηρεάζουν αρνητικά τη θνησιμότητα σε ετήσια βάση. Σχετικό με το θέμα αυτό είναι ότι σε κάθε περιοχή υπάρχει και διαφορετικό όριο θερμοκρασίας, πέρα από το οποίο αρχίζουν να εμφανίζονται αρνητικές εκβάσεις υγείας, λόγω της προσαρμογής των πληθυσμών στο τοπικό κλίμα.

Ακόμη ένας περιορισμός είναι ότι δοκιμάστηκε μόνο ένας εναλλακτικός τρόπος ορισμού του έτους. Έχει φανεί ότι αναλόγως του πως ορίζεται το έτος υπάρχει διαφοροποίηση στα αποτελέσματα όσον αφορά στο μέγεθος της επίδρασης της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα (Goggins et al., 2015). Ωστόσο, γενικά τα αποτελέσματα τείνουν προς την ίδια κατεύθυνση.

Ένας περιορισμός αφορά στις βαθμοημέρες κρύου και την μέση θερμοκρασία της ψυχρής περιόδου. Οι δύο εκθέσεις δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών, καθώς η αυξητική τάση των θερμοκρασιών του χειμώνα είναι αντίστοιχη με αυτή της υψηλής θερμοκρασίας το καλοκαίρι. Επίσης, το όριο που επιλέξαμε ίσως είναι υψηλό για την αποτίμηση της επίδρασης του κρύου. Έτσι τα αποτελέσματα δεν είναι καταληκτικά και χρειάζονται περαιτέρω αναλύσεις με τροποποιήσεις των βαθμοημερών κρύου, όπως π.χ. με την επιλογή διαφορετικού ορίου από τους 27° C, π.χ. το κατώτερο 10% της κατανομής της θερμοκρασίας κατά τη χειμερινή περίοδο.

Επιπλέον, ένας περιορισμός αφορά στις συµµεταβλητές των µοντέλων. Στα παραπάνω µοντέλα δεν έγινε έλεγχος για PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> και SO<sub>2</sub> τα οποία έχουν φανεί από διάφορες µελέτες ότι ίσως επηρεάζουν τη θνησιµότητα (Moghadamnia et al., 2017), διότι δεν υπήρχαν διαθέσιµα δεδοµένα.

Ακόµη, δεν υπήρχαν διαθέσιµα δεδοµένα για θανάτους από γρίπη. Στην βιβλιογραφία συστήνεται να συµπεριλαµβάνονται στα µοντέλα τέτοια δεδοµένα

**Μελλοντικές Κατευθύνσεις.** Από τους παραπάνω περιορισµούς της παρούσας µελέτης συνάγονται και οι µελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας.

Ενδεχοµένως χρησιµοποιώντας προτυποποιηµένο κατά ηλικία δείκτη θνησιµότητας («age standardization») να ελεγχθεί το πρόβληµα µε την γραµµή τάσης.

Επίσης, χρειάζεται µεγαλύτερη διαθεσιµότητα δεδοµένων, δηλαδή επίπεδα θερμοκρασιών, υγρασίας, ατµοσφαιρικών ρύπων και θανάτων για µεγαλύτερη περίοδο ετών, όπως έχει γίνει και σε αντίστοιχες µελέτες (Armstrong et al., 2017). Είναι σηµαντικό να περιλαµβάνονται και πιο πρόσφατα δεδοµένα, δηλαδή µέχρι και το 2019 για παράδειγµα. Ακόµη είναι σηµαντικό να ληφθούν δεδοµένα και για αναπνευστικές λοιµώξεις όπως η γρίπη H1N1. Όσον αφορά στους θανάτους, είναι σηµαντικό να υπάρχουν διαθέσιµα δεδοµένα για όλα τα έτη και ανά φύλο.

Ακόµη, µεθοδολογικά είναι χρήσιµο να δοκιµαστούν διάφοροι ορισµοί έτους και να συνεξεταστούν, ώστε να υπάρχει µία πιο συνολική εικόνα του µεγέθους της επίδρασης της θερμοκρασίας στη θνησιµότητα. Όσον αφορά στις βαθµοηµέρες κρύου, θα µπορούσε να επιλεγεί αριθµός ηµερών κάτω από κάποιο όριο, χαµηλότερο από αυτό που επελέγη, όπως έχει προταθεί και σε άλλες µελέτες (Moghadamnia et al., 2017), για να φανεί µόνο η επίδραση του κρύου (όχι κοινό δηλαδή για κρύο και ζέστη).



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Εισαγωγή.** Πολλές μελέτες τα τελευταία χρόνια ειδικά λόγω της κλιματικής αλλαγής έχουν εστιάσει την προσοχή τους στις αρνητικές επιδράσεις της θερμοκρασίας στην υγεία του ανθρώπου. Οι περισσότερες από αυτές ωστόσο, εστιάζουν κυρίως στις πιο άμεσες συνέπειες των ακραίων θερμοκρασιών, όπως την επίδραση των κυμάτων καύσωνα στη θνησιμότητα ή των ακραία χαμηλών θερμοκρασιών και όχι τόσο στις πιο μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των θερμοκρασιών.

**Σκοπός.** Η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο να διερευνήσει τις επιδράσεις της ετήσιας θερμοκρασίας στην ετήσια θνησιμότητα στην Αθήνα για την περίοδο 1992 – 2010. Εντάσσεται στο πλαίσιο της διερεύνησης των μακροπρόθεσμων επιδράσεων της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα και αναδεικνύει ότι η μετατόπιση της θνησιμότητας γίνεται σε μεγαλύτερο βαθμό από αυτόν που έχει διατυπωθεί.

**Μέθοδος.** Προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος αξιοποιήθηκαν δεδομένα θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικών ρύπων ( $\text{NO}_2$ ), τα οποία συνοψίστηκαν σε ετήσιους δείκτες. Χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες έκθεσης οι ετήσιες μέσες τιμές θερμοκρασίας θερμής και ψυχρής περιόδου ανά ημερολογιακό έτος και βαθμοημέρες κρύου και ζέστης, δηλαδή δείκτες θερμοκρασίας που προκύπτουν από τους ετήσιους μέσους όρους των περιόδων και του σημείου στροφής της καμπύλης της σχέσης της θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα. Τα παραπάνω δεδομένα αναλύθηκαν με μοντέλα παλινδρόμησης Poisson με ημιπιθανοφάνεια (quasi – Poisson models). Δοκιμάστηκαν και εναλλακτικοί ορισμοί έτους (1/10 – 31/9) αλλά και έλεγχος της γραμμικής τάσης, καθώς και αναλύσεις για θανάτους σε άτομα άνω των 75 ετών.

**Αποτελέσματα.** Η υψηλή θερμοκρασία υπό μορφή βαθμοημερών ζέστης επηρεάζει την ετήσια θνησιμότητα. Η θνησιμότητα αυξάνεται κατά 2,7% (95% Δ.Ε: 0,5%, 4,9%), 6,9% (95% Δ.Ε: 1,3%, 12,9%) η καρδιαγγειακή θνησιμότητα και 9,1% (95% Δ.Ε: 1,5%, 17,2%) η αναπνευστική θνησιμότητα, ελέγχοντας για γραμμική τάση και μέση ετήσια σχετική υγρασία θερμής περιόδου, ανά 1 βαθμοημέρα ζέστης. Για το ίδιο μοντέλο οι επιδράσεις αν και στατιστικώς σημαντικές και για τους άνω των 75 ετών δεν φάνηκε να είναι μεγαλύτερες ποσοτικά.

Από την παρούσα εργασία αναδεικνύονται οι μακροχρόνιες αρνητικές επιπτώσεις της θερμοκρασίας στον πληθυσμό και αναδεικνύεται ότι η αύξηση της θνησιμότητας δεν οφείλεται σε βραχυχρόνια μετατόπιση του χρόνου θανάτου. Επίσης, αναδεικνύεται η ανάγκη περισσότερων παρόμοιων ερευνών με περισσότερα επιδημιολογικά και κλιματολογικά δεδομένα.

## ABSTRACT

**Introduction.** Many studies especially during the recent years, driven by the interest in the impact of climate change, have focused their attention on the adverse aspects of temperature on human health. Most of them however focus their attention primarily on the short-term effects of temperature extremes such as heatwaves or cold spells on mortality.

**Purpose.** The present study aims to investigate the effects of annual temperature indices on annual mortality in Athens for the period 1992 – 2010. It is included in the broader context of investigating long term effects of temperature on mortality.

**Method.** Temperature, humidity and air pollution data (NO<sub>2</sub>) were used and summarized into annual indices. Temperature mean values during the warm and cold periods of the year were calculated as well as “degree days”, both hot and cold. Degree days are based on the combination of temperature means for the warm and cold period of the year respectively and the turning point of the curve of the relationship between temperature and mortality. The above data were then analyzed using quasi-Poisson regression models. Alternative definitions of year were also applied (1/10 – 31/9) as well as separate analysis for persons > 75 years of age.

**Results.** Higher temperature as expressed by an increase of 1 degree day of heat is associated with an increase in total mortality by 2,7% (95% C.I: 0,5%, 4,9%), cardiovascular mortality by 6,9% (95% C.I: 1,3%, 12,9%) and respiratory mortality by 9,1% (95% C.I: 1,5%, 17,2%) controlling for long-term trend and mean relative humidity during the warm period. The same model applied to the elderly deaths was statistically significant nonetheless having a lower effect estimate.

**Conclusions:** Our results highlight the adverse effects of high temperature on mortality. They provide evidence that the temperature effect is not short-term harvesting. The need for more research with more available epidemiological and meteorological data is also mentioned.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Almeida, S., Casimiro, E., & Analitis, A. (2013). Short-term effects of summer temperatures on mortality in Portugal: a time-series analysis. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A*, 76(7), 422–428. <https://doi.org/10.1080/15287394.2013.771550>
- Analitis, A, Katsouyanni, K., Biggeri, A., Baccini, M., Forsberg, B., Bisanti, L., Kirchmayer, U., Ballester, F., Cadum, E., Goodman, P. G., Hojs, A., Sunyer, J., Tiittanen, P., & Michelozzi, P. (2008). Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *American Journal of Epidemiology*, 168(12), 1397–1408. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn266>
- Analitis, Antonis, De' Donato, F., Scortichini, M., Lanki, T., Basagana, X., Ballester, F., Astrom, C., Paldy, A., Pascal, M., Gasparrini, A., Michelozzi, P., & Katsouyanni, K. (2018). Synergistic Effects of Ambient Temperature and Air Pollution on Health in Europe: Results from the PHASE Project. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph15091856>
- Analitis, Antonis, Michelozzi, P., D'Ippoliti, D., De'Donato, F., Menne, B., Matthies, F., Atkinson, R. W., Iñiguez, C., Basagaña, X., Schneider, A., Lefranc, A., Paldy, A., Bisanti, L., & Katsouyanni, K. (2014). Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 25(1), 15–22. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e31828ac01b>
- Armstrong, B., Bell, M. L., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Leon Guo, Y.-L., Guo, Y., Goodman, P., Hashizume, M., Honda, Y., Kim, H., Lavigne, E., Michelozzi, P., Hilario Nascimento Saldiva, P., Schwartz, J., Scortichini, M., Sera, F., Tobias, A., Tong, S., Wu, C.-F., Zanobetti, A., ... Gasparrini, A. (2017). Longer-Term Impact of High and Low Temperature on Mortality: An International Study to Clarify Length of Mortality Displacement. *Environmental Health Perspectives*, 125(10), 107009. <https://doi.org/10.1289/EHP1756>

- Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., Anderson, H. R., Bisanti, L., D'Ippoliti, D., Danova, J., Forsberg, B., Medina, S., Paldy, A., Rabczenko, D., Schindler, C., & Michelozzi, P. (2008). Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, *19*(5), 711–719. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318176bfcd>
- Ballester, F., Corella, D., Pérez-Hoyos, S., Sáez, M., & Hervás, A. (1997). Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993. *International Journal of Epidemiology*, *26*(3), 551–561. <https://doi.org/10.1093/ije/26.3.551>
- Bao, J., Wang, Z., Yu, C., & Li, X. (2016). The influence of temperature on mortality and its Lag effect: a study in four Chinese cities with different latitudes. *BMC Public Health*, *16*(1), 375. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3031-z>
- Basu, R., Feng, W.-Y., & Ostro, B. D. (2008). Characterizing temperature and mortality in nine California counties. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, *19*(1), 138–145. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e31815c1da7>
- Bhaskaran, K., Gasparrini, A., Hajat, S., Smeeth, L., & Armstrong, B. (2013). Time series regression studies in environmental epidemiology. *International Journal of Epidemiology*, *42*(4), 1187–1195. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt092>
- Blagojević, L. M., Bogdanović, D. C., Jović, S. J., Milosević, Z. G., & Dolićanin, Z. C. (2012). Excess winter mortality of Roma population in Serbia, 1992-2007. *Central European Journal of Public Health*, *20*(2), 135–138. <https://doi.org/10.21101/cejph.a3711>
- Bouchama, A., & Knochel, J. P. (2002). Heat stroke. *The New England Journal of Medicine*, *346*(25), 1978–1988. <https://doi.org/10.1056/NEJMra011089>
- Braga, A. L. F., Zanobetti, A., & Schwartz, J. (2002). The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Environmental Health Perspectives*, *110*(9), 859–863. <https://doi.org/10.1289/ehp.02110859>
- Curriero, F. C., Heiner, K. S., Samet, J. M., Zeger, S. L., Strug, L., & Patz, J. A. (2002).

Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States. *American Journal of Epidemiology*, 155(1), 80–87. <https://doi.org/10.1093/aje/155.1.80>

D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., de'Donato, F., Menne, B., Katsouyanni, K., Kirchmayer, U., Analitis, A., Medina-Ramón, M., Paldy, A., Atkinson, R., Kovats, S., Bisanti, L., Schneider, A., Lefranc, A., Iñiguez, C., & Perucci, C. A. (2010). The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environmental Health*, 9(1), 37. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-37>

Eurowinter Group. (1997). Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. The Eurowinter Group. *Lancet (London, England)*, 349(9062), 1341–1346.

Gasparri, A., Armstrong, B., Kovats, S., & Wilkinson, P. (2012). The effect of high temperatures on cause-specific mortality in England and Wales. *Occupational and Environmental Medicine*, 69(1), 56–61. <https://doi.org/10.1136/oem.2010.059782>

Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo, Y.-L. L., Wu, C., Kan, H., Yi, S.-M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P. H. N., ... Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)

Gasparri, A., Guo, Y., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Huber, V., Tong, S., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Nascimento Saldiva, P. H., Lavigne, E., Matus Correa, P., Valdes Ortega, N., Kan, H., Osorio, S., Kyselý, J., Urban, A., Jaakkola, J. J. K., Rytö, N. R. I., Pascal, M., Goodman, P. G., ... Armstrong, B. (2017). Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *The Lancet Planetary Health*, 1(9), e360–e367. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0)

Goggins, W. B., Yang, C., Hokama, T., Law, L. S. K., & Chan, E. Y. Y. (2015). Using

Annual Data to Estimate the Public Health Impact of Extreme Temperatures.

*American Journal of Epidemiology*, 182(1), 80–87.

<https://doi.org/10.1093/aje/kwv013>

Guo, Y., Gasparri, A., Armstrong, B. G., Tawatsupa, B., Tobias, A., Lavigne, E., Coelho, M. de S. Z. S., Pan, X., Kim, H., Hashizume, M., Honda, Y., Guo, Y.-L. L., Wu, C.-F., Zanobetti, A., Schwartz, J. D., Bell, M. L., Scortichini, M., Michelozzi, P., Punnasiri, K., ... Tong, S. (2017). Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study. *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 87006. <https://doi.org/10.1289/EHP1026>

Hales, S., Salmond, C., Town, G. I., Kjellstrom, T., & Woodward, A. (2000). Daily mortality in relation to weather and air pollution in Christchurch, New Zealand. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 24(1), 89–91. <https://doi.org/10.1111/j.1467-842X.2000.tb00731.x>

Havenith, G. (2005). *Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress BT - Extreme Weather Events and Public Health Responses* (W. Kirch, R. Bertollini, & B. Menne (eds.); pp. 69–80). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-28862-7\\_7](https://doi.org/10.1007/3-540-28862-7_7)

Healy, J. D. (2003). Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 57(10), 784–789. <https://doi.org/10.1136/jech.57.10.784>

Hess, J. J., Saha, S., & Lubber, G. (2014). Summertime acute heat illness in U.S. emergency departments from 2006 through 2010: analysis of a nationally representative sample. *Environmental Health Perspectives*, 122(11), 1209–1215. <https://doi.org/10.1289/ehp.1306796>

Huang, J., Wang, J., & Yu, W. (2014). The lag effects and vulnerabilities of temperature effects on cardiovascular disease mortality in a subtropical climate zone in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(4), 3982–3994. <https://doi.org/10.3390/ijerph110403982>

- Katsouyanni, K., Pantazopoulou, A., Touloumi, G., Tselepidaki, I., Moustris, K., Asimakopoulos, D., Pouloupoulou, G., & Trichopoulos, D. (1993). Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Archives of Environmental Health*, *48*(4), 235–242. <https://doi.org/10.1080/00039896.1993.9940365>
- Kilbourne, E. M. (1999). The spectrum of illness during heat waves. *American Journal of Preventive Medicine*, *16*(4), 359–360. [https://doi.org/10.1016/s0749-3797\(99\)00016-1](https://doi.org/10.1016/s0749-3797(99)00016-1)
- Klein Rosenthal, J., Kinney, P. L., & Metzger, K. B. (2014). Intra-urban vulnerability to heat-related mortality in New York City, 1997-2006. *Health & Place*, *30*, 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.07.014>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2005). World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, *15*(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Laaidi, K., Economopoulou, A., Wagner, V., Pascal, M., Empereur-Bissonnet, P., Verrier, A., & Beaudou, P. (2013). Cold spells and health: prevention and warning. *Public Health*, *127*(5), 492–499. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2013.02.011>
- Le Tertre, A., Lefranc, A., Eilstein, D., Declercq, C., Medina, S., Blanchard, M., Chardon, B., Fabre, P., Filleul, L., Jusot, J.-F., Pascal, L., Prouvost, H., Cassadou, S., & Ledrans, M. (2006). Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, *17*(1), 75–79. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000187650.36636.1f>
- Li, S., Zhou, Y., Williams, G., Jaakkola, J. J. K., Ou, C., Chen, S., Yao, T., Qin, T., Wu, S., & Guo, Y. (2016). Seasonality and temperature effects on fasting plasma glucose: A population-based longitudinal study in China. *Diabetes & Metabolism*, *42*(4), 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2016.01.002>
- Marti-Soler, H., Gonseth, S., Gubelmann, C., Stringhini, S., Bovet, P., Chen, P.-C., Wojtyniak, B., Paccaud, F., Tsai, D.-H., Zdrojewski, T., & Marques-Vidal, P.



- (2014). Seasonal variation of overall and cardiovascular mortality: a study in 19 countries from different geographic locations. *PloS One*, 9(11), e113500–e113500. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113500>
- Meehl, G. A., & Tebaldi, C. (2004). More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science*, 305(5686), 994 LP – 997. <https://doi.org/10.1126/science.1098704>
- Metintas, S., & Kurt, E. (2010). Geo-climate effects on asthma and allergic diseases in adults in Turkey: results of PARFAIT study. *International Journal of Environmental Health Research*, 20(3), 189–199. <https://doi.org/10.1080/09603120903456828>
- Michelozzi, P., Kirchmayer, U., Katsouyanni, K., Biggeri, A., McGregor, G., Menne, B., Kassomenos, P., Anderson, H. R., Baccini, M., Accetta, G., Analytis, A., & Kosatsky, T. (2007). Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, the PHEWE project: background, objectives, design. *Environmental Health*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-6-12>
- Moghadamnia, M. T., Ardalan, A., Mesdaghinia, A., Keshtkar, A., Naddafi, K., & Yekaninejad, M. S. (2017). Ambient temperature and cardiovascular mortality: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ*, 5, e3574. <https://doi.org/10.7717/peerj.3574>
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- O’Neill, M. S., Zanobetti, A., & Schwartz, J. (2003). Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities. *American Journal of Epidemiology*, 157(12), 1074–1082. <https://doi.org/10.1093/aje/kwg096>

- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24.  
<https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Pascal, M., Wagner, V., Chatignoux, E., Falq, G., Corso, M., Blanchard, M., Host, S., Larrieu, S., Pascal, L., & Declercq, C. (2012). Ozone and short-term mortality in nine French cities: Influence of temperature and season. *Atmospheric Environment*, 62, 566–572. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.09.009>
- Pascal, M., Wagner, V., Corso, M., Laaidi, K., Ung, A., & Beaudeau, P. (2018). Heat and cold related-mortality in 18 French cities. *Environment International*, 121(Pt 1), 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.049>
- Rehill, N., Armstrong, B., & Wilkinson, P. (2015). Clarifying life lost due to cold and heat: a new approach using annual time series. *BMJ Open*, 5(4), e005640.  
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-005640>
- Ren, C, Williams, G. M., Morawska, L., Mengersen, K., & Tong, S. (2008). Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data. *Occupational and Environmental Medicine*, 65(4), 255–260.  
<https://doi.org/10.1136/oem.2007.033878>
- Ren, Cizao, Williams, G. M., & Tong, S. (2006). Does particulate matter modify the association between temperature and cardiorespiratory diseases? *Environmental Health Perspectives*, 114(11), 1690–1696. <https://doi.org/10.1289/ehp.9266>
- Roberts, S. (2004). Interactions between particulate air pollution and temperature in air pollution mortality time series studies. *Environmental Research*, 96(3), 328–337.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.01.015>
- Schifano, P., Cappai, G., De Sario, M., Michelozzi, P., Marino, C., Bargagli, A. M., & Perucci, C. A. (2009). Susceptibility to heat wave-related mortality: a follow-up study of a cohort of elderly in Rome. *Environmental Health : A Global Access Science Source*, 8, 50. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-50>

- Schumann, B., Edvinsson, S., Evengård, B., & Rocklöv, J. (2013). The influence of seasonal climate variability on mortality in pre-industrial Sweden. *Global Health Action*, 6(1), 20153. <https://doi.org/10.3402/gha.v6i0.20153>
- Scortichini, M., De Sario, M., de'Donato, F. K., Davoli, M., Michelozzi, P., & Stafoggia, M. (2018). Short-Term Effects of Heat on Mortality and Effect Modification by Air Pollution in 25 Italian Cities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8), 1771. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081771>
- Smith, K. R., Woodward, A., Campbell-Lendrum, D., Chadee, D., Honda, Y., Liu, Q.-Y., Olwoch, J., Revich, B., Sauerborn, R., Confalonieri, U., Haines, A., Chafe, Z., & Rocklöv, J. (2015). *Human health: Impacts, adaptation, and co-benefits* (pp. 709–754). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.016>
- VALLERO, D. A. (2008). *1 - The Changing Face of Air Pollution* (D. A. B. T.-F. of A. P. (Fourth E. VALLERO (ed.); pp. 3–51). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012373615-4/50002-9>
- von Klot, S., Zanobetti, A., & Schwartz, J. (2012). Influenza epidemics, seasonality, and the effects of cold weather on cardiac mortality. *Environmental Health : A Global Access Science Source*, 11, 74. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-74>
- Watts, N., Adger, W. N., Agnolucci, P., Blackstock, J., Byass, P., Cai, W., Chaytor, S., Colbourn, T., Collins, M., Cooper, A., Cox, P. M., Depledge, J., Drummond, P., Ekins, P., Galaz, V., Grace, D., Graham, H., Grubb, M., Haines, A., ... Costello, A. (2015). Health and climate change: policy responses to protect public health. *The Lancet*, 386(10006), 1861–1914. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60854-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60854-6)
- Yi, W., & Chan, A. P. C. (2015). Effects of temperature on mortality in Hong Kong: a time series analysis. *International Journal of Biometeorology*, 59(7), 927–936. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0895-4>
- Yu, W., Mengersen, K., Wang, X., Ye, X., Guo, Y., Pan, X., & Tong, S. (2012). Daily average temperature and mortality among the elderly: a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence. *International Journal of*

*Biometeorology*, 56(4), 569–581. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0497-3>

Zafeiratou, S., Analitis, A., Founda, D., Giannakopoulos, C., Varotsos, K. V, Sismanidis, P., Keramitsoglou, I., & Katsouyanni, K. (2019). Spatial Variability in the Effect of High Ambient Temperature on Mortality: An Analysis at Municipality Level within the Greater Athens Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph16193689>

Zanobetti, A, Wand, M. P., Schwartz, J., & Ryan, L. M. (2000). Generalized additive distributed lag models: quantifying mortality displacement. *Biostatistics (Oxford, England)*, 1(3), 279–292. <https://doi.org/10.1093/biostatistics/1.3.279>

Zanobetti, Antonella, & O’Neill, M. S. (2018). Longer-Term Outdoor Temperatures and Health Effects: A Review. *Current Epidemiology Reports*, 5(2), 125–139. <https://doi.org/10.1007/s40471-018-0150-3>

Zanobetti, Antonella, O’Neill, M. S., Gronlund, C. J., & Schwartz, J. D. (2012). Summer temperature variability and long-term survival among elderly people with chronic disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(17), 6608–6613. <https://doi.org/10.1073/pnas.1113070109>